



ESCOLA NAVAL

ta sãnto e bñfãire



SOFIA AZEVEDO GOULÃO

RADARES DE ABERTURA SINTÉTICA (SAR): Os fundamentos e potencialidades de uso na Marinha Portuguesa

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em
Ciências Militares Navais, na especialidade de
Engenharia Naval – Ramo de Armas e eletrónica



Alfeite
2018



SOFIA AZEVEDO GOULÃO

**RADARES DE ABERTURA SINTÉTICA (SAR):
Os fundamentos e potencialidades de uso
na Marinha Portuguesa**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências
Militares Navais, na especialidade de Engenharia Naval – Ramo
de Armas e eletrónica

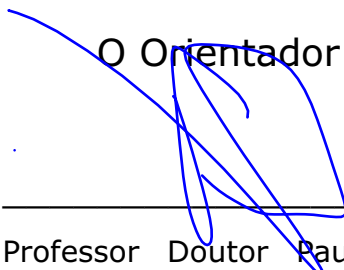
Orientação de: Professor Doutor Paulo Alexandre Carapinha Marques

Coorientação de: CTEN EN-AEL João Luís Reis Fidalgo Neves

O Aluno Mestrando


ASPOF EN-AEL Sofia Azevedo Goulão

O Orientador


Professor Doutor Paulo Alexandre
Carapinha Marques

Alfeite
2018

Epígrafe

“The World as we have created it is a process of our thinking. It cannot be changed without changing our thinking.”

Albert Einstein

Agradecimentos

Em geral, a todos os que contribuíram de uma ou de outra forma para a elaboração deste trabalho de investigação.

Com uma referência muito sentida de consideração e respeito, aos meus orientadores, os quais no uso de um espírito crítico muito apurado, foram primordiais na realização do trabalho, sempre presentes e disponíveis nas necessidades de orientação e do rumo a seguir, ajudando a superar dificuldades e enriquecendo o seu conteúdo, designadamente:

- O Professor Doutor Paulo Marques pelo seu apoio incondicional, o qual, com a sua serenidade e sugestões assertivas e coerentes, contribuíram sempre para suprimir as minhas incertezas e momentos de desânimo.

- O CTEN EN-AEL Fidalgo Neves, sempre disponível para responder prontamente às necessidades.

Ao CFR M Plácido da Conceição, pela ajuda prestada.

À Marinha e à Escola Naval, pelas valências que me providenciaram.

À família pela motivação, à mãe, ao mano e especialmente ao pai, pelo apoio, motivação e sobretudo por ser a minha base e fonte de inspiração.

Ao camarada de classe e “irmão”, ASPOF EN-AEL Candeias de Magalhães, pelo apoio e motivação que estiveram sempre presentes.

Resumo e palavras chave

A tecnologia *Radar de Abertura Sintética (SAR)* é, há décadas, utilizada para a monitorização da Terra. Face às evoluções tecnológicas, o SAR mantém-se objeto de grande interesse científico e militar. Por um lado, devido às suas características técnicas de funcionamento que lhe conferem a capacidade de funcionar tanto de dia como de noite; em condições meteorológicas adversas bem como em ambientes atmosféricos saturados por poeiras ou cinzas. Por outro lado, pela sua infinidade de aplicações, adaptando-se às geociências e mudanças climáticas; à monitorização dos oceanos e da crosta terrestre e à segurança, nas suas variadas vertentes.

A aplicação da tecnologia SAR no âmbito militar encontra-se presente em países como EUA, Alemanha, China e outros que acompanham a vanguarda das novas tecnologias e procuram meios complementares das informações disponíveis, por exemplo as adquiridas por radares tradicionais.

O presente trabalho focou-se em estudar, compilar e resumir os princípios teóricos de funcionamento do SAR; o desenvolvimento de um código com aplicação de um algoritmo para demonstração da formação de imagem, servindo para comparar com outros sistemas e produtos mais utilizados e essencialmente como uma base teórica para trabalhos futuros.

No âmbito mais estrito, foi efetuado um estudo para averiguar o nível de conhecimento da tecnologia e a possibilidade de implementação na Marinha Portuguesa que permitiu também a sua divulgação.

Concluiu-se que apesar de existir na Marinha o recurso a imagens SAR, o conhecimento sobre as suas potencialidades como meio de deteção remota não é generalizado pois os oficiais inquiridos relevaram que nunca tinham contactado com a tecnologia, desconhecendo se a Marinha recorreria a esta tecnologia. Contudo, expostos à informação, consideram que a prestação do SAR poderá ser uma mais-valia para as suas missões.

Palavras Chave: SAR (Radar de Abertura Sintética); Deteção Remota; Formação de Imagem; Marinha Portuguesa

Abstract and Keywords

The Synthetic Aperture Radar technology (SAR) has been used for decades for Earth monitoring. Accounted for the technological developments, the SAR remains an object of considerable scientific and military interest. On one hand, due to the technical characteristics that allow it to operate both day and night; in adverse weather conditions not to mention in atmospheres saturated by dust or ashes.

On the other hand, by its countless applications, adapting to the geosciences and climatic changes, monitoring the oceans along with the earth's crust and security, in its various aspects.

The application of SAR technology in the military environment is a reality in countries such as USA, Germany, China and others that are at the forefront of new technologies and seek complementary means to the available information, for example those acquired by traditional radars.

The present work focuses on the study, compilation and a synopsis of the theoretical principles of SAR operation and the development of a code applied to an algorithm to demonstrate the image forming, able to compare with the most used and available systems and to serve as a basis for future work.

Another course of action consisted to ascertain the level of knowledge that the Portuguese Navy officers have of this technology. For this purpose, a study was carried out, that allowed the dissemination and verification of the advantages and potentialities they could bring to the fulfilment of their different missions.

The results revealed that the inquired officers never had contact with the SAR technology, without knowing if the Navy uses this technology. On the other hand, they have insufficient knowledge about its potential as a means of remote sensing. Exposed to the information, the respondents consider that the provision of SAR can be an added value to their missions.

Keywords: Synthetic Aperture Radar; Remote Sensing; Image Formation; Portuguese Navy

Índice

<i>Epígrafe</i>	<i>i</i>
<i>Agradecimentos</i>	<i>iii</i>
<i>Resumo e palavras chave</i>	<i>v</i>
<i>Abstract</i>	<i>vi</i>
<i>Índice</i>	<i>vii</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>ix</i>
<i>Índice de tabelas</i>	<i>xi</i>
<i>Índice de equações</i>	<i>xii</i>
<i>Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos</i>	<i>xiii</i>
<i>Lista de variáveis</i>	<i>1</i>
Capítulo 1. Introdução	3
1.1 Estrutura da Dissertação	4
Capítulo 2. Enquadramento Radares de Abertura Sintética	7
2.1. História do Radar de abertura sintética (SAR).....	7
2.2. Aplicações do SAR	10
2.2.1. Aplicações de âmbito civil	11
2.2.2. Aplicações de âmbito militar	16
Capítulo 3. Fundamentos teóricos do SAR	21
3.1. Equação de Radar para os sistemas SAR.....	21
3.2. Geometria Radar SAR	23
3.3. Geometrias de Aquisição.....	26
3.4. Processamento SAR	29
3.4.1. Processamento em Alcance	30
3.4.2. Processamento em Azimute	33
3.5. Algoritmo de reconstrução de frente de onda.....	38

3.6.	Fatores que afetam a imagem	41
3.7.	Imagem ótica vs. Imagem SAR	44
Capítulo 4. Metodologia		47
4.1	Introdução	47
4.2	Metodologia.....	48
4.2.1	Técnicas ou instrumentos de recolha de dados.....	49
4.3	Ambiente de ação da Marinha Portuguesa	50
4.4	Formulação de hipóteses	53
4.4.1	Inquéritos por questionários.....	54
4.4.2	Entrevistas.....	57
4.5	Resultados estatísticos	58
4.5.1	Dados Demográficos	58
4.5.2	Resultados.....	60
4.6	Discussão de Resultados	69
4.6.1	Ambiente de Estudo.....	69
4.6.2	Utilização na Marinha Portuguesa	70
Conclusão		73
Bibliografia.....		77
ANEXO 1 – Demonstração da Equação Radar SAR		83
ANEXO 2 – Código MATLAB para criação de Imagem SAR		85
ANEXO 3 – Inquérito por Questionário		101
ANEXO 4 – Entrevista		111
ANEXO 5 – Análise de Inquéritos		115

Índice de figuras

Figura 1. Principais satélites que utilizam tecnologia SAR	8
Figura 2. Esquemática da transmissão de dados de um satélite. c = Velocidade da luz; R = distância ao alvo	22
Figura 3. Transmissão e receção de um sinal por um radar através da reflexão num alvo.	22
Figura 4. Geometria Stripmap do Radar SAR	23
Figura 5. Resolução dependente do tamanho da antena, imagem alterada da DLR, representativo à esquerda uma antena de Abertura Real e à direita de Abertura Sintética.	24
Figura 6. Geometria do esquema de aquisição radar, onde se destaca dois parâmetros, azimute e alcance.	26
Figura 7. <i>StripMap mode</i> (SM)	26
Figura 8. InSAR (Interferometria)	27
Figura 9. <i>Spotlight</i>	28
Figura 10. ISAR (SAR inverso)	28
Figura 11. SCANSAR	29
Figura 12 - Esquema do processamento de imagem SAR	29
Figura 13 - Dados em bruto, módulo à esquerda e fase à direita, obtidos pelo código no Anexo 2.	30
Figura 14. Resultado da correlação entre o sinal recebido e uma réplica do sinal enviado (um chirp) com o ganho de processamento.	31
Figura 15. Exemplo da compressão de impulsos através da correlação	32
Figura 16 - Imagem resultante da 1ª Compressão, em alcance, obtidos pelo código no Anexo 2.	33
Figura 17. Recolha de informação armazenada numa matriz 2D.	34
Figura 18. Alteração do alcance a um alvo dependente do movimento da antena (Tempo de Abertura Sintética)	34
Figura 19. Resultado da compressão em alcance e azimute, obtidos pelo código no Anexo 2.	36
Figura 20. Imagem ótica da rotunda que foi adquirida pelo processamento de dados SAR	37
Figura 21 - Esquema do Processamento de Imagem em MATLAB	38
Figura 22. Algoritmo de Reconstrução da Frente de Onda	39
Figura 23. Diagrama de Blocos do algoritmo de reconstrução de frente de onda ([33])	41
Figura 24. Deslocamento em elevação	42
Figura 25. Foreshortening	42
Figura 26 - Layover	43
Figura 27. Efeito de Sombra (Radar Shadow)	43
Figura 28. Imagem Sentinel-2; 05 maio 2017	44

Figura 29. Imagem Sentinel-1; 09 novembro 2016 _____	45
Figura 30. Posição do navio Prestige 2002 _____	61
Figura 31 - Derrame do navio Prestige 2002 _____	62
Figura 32. Importância dos Equipamentos de Detecção Remota no sucesso das missões _____	70

Índice de tabelas

Tabela 1. Valores de resolução correspondentes para diferentes tamanhos de antena	25
Tabela 2. Caracterização da amostra (n=50)	58
Tabela 3. Equipamentos de interesse para a missão	63
Tabela 4. Capacidades dos equipamentos de deteção remota	64
Tabela 5. Necessidades no Local Sinistrado	65
Tabela 6 -Melhor forma de obter informação para local sinistrado	66
Tabela 7 -Avaliação do melhor método de implementação nas missões	67

Índice de equações

Equação (1)	23
Equação (2)	23
Equação (3)	25
Equação (4)	30
Equação (5)	31
Equação (6)	35
Equação (7)	35
Equação (8)	35
Equação (9)	35
Equação (10)	35
Equação (11)	39
Equação (12)	39
Equação (13)	40
Equação (14)	40
Equação (15)	40
Equação (16)	40
Equação (17)	40

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

AESA	Active electronically scanned array
AIS	Automatic Identification System
APA	American Psychology Association
ASI	Agenzia Spaziale Italiana
AUV	Autonomous Underwater Vehicle
AWACS	Airborne Warning and Control System
BABOK	Business Analysis Body of knowledge
CEOV	Célula de experimentação de veículos não tripulados
CITAN	Centro Integrado de Treino e Avaliação Naval
COM	Comunicações
COMAR	Comando de Operações Marítimas
CSA	Canadian Space Agency
DARA/DLR	German Aerospace Center (Centro aeroespacial Alemão)
DInSAR	SAR de Interferometria Diferencial
DLA	Departamento de delimitação de avarias
DMTI	Dismount Moving Target Indicator
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System
EH	Esquadrilha de Helicópteros
EMA	Estado Maior da Armada
EMSA	European Maritime Safety Agency
ERS-1	European Remote-Sensing Satellite-1
ESA	European Space Agency
ETNA	Escola de Tecnologias Navais
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Food and Agriculture Organization (agência da Organização das Nações Unidas)
FCT	Fundação para a Ciência e Tecnologia
FFT	Fast Fourier Transform
FM	Ondas rádio em frequência modelada

GA-ASI	General Atomics Aeronautical Systems, Inc.
GMTI	Ground Moving Target Indicator
GNSS	Sistema Satélite de Navegação
GPS	Global Positioning System
ICBM	Intercontinental Ballistic Missiles
IIBA	International Institute of Business Analysis
InSAR	SAR interferométrico
INTA	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
IRF	Impulse Response Function
ISAR	SAR Inverso
ISR	Intelligence, Surveillance and Recognition
ISRO	Indian Space Research Organization
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
KARI	Korean Aerospace Research Institute
M	Marinha
MAS	Maritime Situational Awareness
MATLAB	MATrix LABoratory
MEC	Mecânica
MISREP	Relatório de missão
MMTI	Maritime Moving Target Indicator
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NASA/JPL	National Aeronautics and Space Administration / Jet Propulsion Laboratory
NRL	Naval Research Laboratory
OAT	Oficial de ação tática
OQP	Oficial de quadro à ponte
PInSAR	SAR de Interferometria por dispersão persistente
PRF	Pulse Repetition Frequency
RCM	Range Cell Migration
RCS	Radar Cross Section
RMP	Recognized Maritime Pictures

SAR	Synthetic Aperture Radar (Radar de abertura sintética)
SAS	Synthetic Aperture Sonar
SATCOM	Comunicações de satélites militares
SBR	Space Based Radar
SDWS	SAR-derived wind speed
SeaSAT	Sea Satellite (Satélite oceanográfico)
SIR-C/X-SAR	Shuttle Imaging Radar with Payload C/X-SAR)
SM	Stripmap mode
SNR	Signal noise ratio
SST	Sea surface temperature
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (drone)
UCD	User center Design
UN	Unidade naval
USA	United States of America

Lista de variáveis

- $a(t)$ amplitude introduzida pelo ganho da antena
- c Velocidade da luz
- D Largura física da antena
- f Frequência
- f_n fator de refletividade
- $\hat{F}(k_x, k_y)$ Transformada de Fourier
- g Ganho da antena
- k N° de onda
- k_u Domínio da frequência em tempo-lento
- k_x Frequência espacial em azimuth
- k_y Frequência espacial em alcance
- L Tempo de abertura sintética
- N_A N° de impulsos no tempo correspondente à abertura sintética
- $p(t)$ Impulso de banda larga
- $P(w)$ Transformada de Fourier do sinal transmitido
- P_t Potência de transmissão
- P_r Potência recebida
- R Distância do radar ao alvo
- R_0 Menor distância do radar ao alvo
- $S(y)$ Sinal recebido
- $s(u, t)$ Sinal no domínio do tempo-lento
- $S(k_u, w)$ Transformada de Fourier de $s(u, t)$
- T_D Tempo de ida e volta
- T_p Tempo de cada pulso
- t Domínio do tempo-rápido
- u Domínio da abertura sintética
- V Velocidade da antena na direção de azimuth
- x coordenada em azimuth
- y coordenada em alcance

α Velocidade relativa do alvo em relação à antena

β Chirp rate

θ_i Ângulo entre alcance e nadir

λ Comprimento de onda

σ Secção transversal (Radar Cross Section)

Δ Resolução

Δ_x Resolução em azimuth

Δ_y Resolução em alcance

$\Delta\theta$ Diferença de fase

Capítulo 1.Introdução

A tecnologia SAR tem como objetivo sintetizar uma abertura de antena muito maior do que a abertura real da antena para produzir imagens de radar de alta resolução [1]. O radar de abertura sintética refere-se a um sistema de radar de geração de imagens que utiliza o movimento da plataforma de radar e o processamento especializado de sinais para gerar imagens de alta resolução. Desta forma o SAR simula uma antena de grandes dimensões ao recolher e processar os dados à medida que se desloca numa trajetória [1] [2], sendo uma técnica sofisticada de imagens de radar para todas as condições meteorológicas [3]

Antes do desenvolvimento do radar de abertura sintética, os radares de abertura real eram conhecidos como radares de abertura lateral (SLAR). A principal diferença entre os radares de abertura reais e sintéticos é, portanto, a maneira pela qual a resolução em azimuth é alcançada. Segundo Oliver & Quegan (2004) a resolução de alcance e a equação de radar derivadas anteriormente para um radar de abertura real ainda são válidas aqui. O mecanismo de imagem e a resolução resultante ao longo da zona iluminada são, no entanto, bem diferentes para o caso de radar de abertura real e sintético [2].

Patenteada por Carl A. Wilson em 1954, a tecnologia deu resposta ao interesse civil e militar no desenvolvimento de equipamento aéreo que permitisse fazer patrulhas de dia e de noite e em quaisquer condições meteorológicas. Esta tecnologia permitiu obter um equipamento que conseguisse operar em comprimentos de onda que obtivessem níveis de resolução satisfatórios sem a necessidade de recurso a antenas com dimensões tais que inviabilizaria a sua aplicabilidade a bordo das plataformas de suporte [4]. A sua aplicabilidade com sucesso, só viria a consagrar-se duas décadas depois e a maturidade do sistema ainda esperaria mais umas décadas. O SAR é alvo de intenso interesse mundial de vários setores científicos, resultando em inúmeras parcerias para exploração das suas potencialidades e desenvolvimento, multiplicando-se, inclusive, seminários e ações de formação junto da comunidade científica.

Hoje é considerada uma tecnologia madura e evoluída no âmbito da deteção remota com utilidade em quase todas as aplicações científicas, contribuindo de forma significativa para o desenvolvimento das mais variadas atividades de observação e estudo terrestre (aquático, terrestre, aéreo, presença de óleo no mar, etc). É utilizada de forma rápida em diferentes meios, para além dos satélites, também em aviões ou aeronaves não tripuladas.

Afirmando-se como tecnologia de sucesso com grande potencial de desenvolvimento em vários tipos de aplicações por exemplo, de cariz civil/científico desempenha um papel fundamental no estudo das mudanças ambientais globais, na exploração de recursos, na mitigação de desastres [5], nos ambientes urbanos e até mesmo na exploração lunar [6], tendo também funções bem definidas no âmbito militar [7] tais como a recolha de informações, reconhecimento de campo de batalha e orientação de armas [8].

Face ao exposto considera-se pertinente aferir e ampliar o conhecimento da Marinha Portuguesa sobre o SAR, quanto à sua aplicabilidade, melhorias que possam surgir do seu uso, tendo em consideração que os seus equipamentos ainda não possuem esta tecnologia.

1.1 Estrutura da Dissertação

Inicialmente a dissertação começa por abordar os aspetos históricos referentes ao desenvolvimento do SAR, bem como o estado da arte sobre a tecnologia.

Segue-se a formulação dos principais conceitos teóricos do funcionamento do radar SAR que permite perceber as características que o diferem de um radar convencional e lhe permitem melhorar exponencialmente o resultado dos produtos e abordar métodos de aquisição de dados e de processamento, para formação das imagens de alta resolução, com base na principal doutrina existente tanto no âmbito nacional como internacional.

Como continuidade do ponto anterior, no entanto assumindo um cariz prático, pretende-se materializar a teoria com recurso ao MATLAB por forma a obter uma imagem SAR tendo como objetivo o desenvolvimento do processo de

formação de imagem, partindo de dados adquiridos através de uma agência exterior.

Por último, com o objetivo da introdução e conhecimento da tecnologia concluído, embrenhar-se-á no apuramento de cariz científico sobre a dimensão do conhecimento existente na Marinha. Tentar-se-á, após um pequeno périplo pelo ambiente e necessidades atuais na organização, apurar por metodologias com recurso a inquérito e entrevista, da pertinência da sua introdução ao serviço das missões que a Marinha tem à sua responsabilidade.

Pretende-se perceber, após dar conhecimento da sua aplicabilidade atual, se a tecnologia e seus produtos resultantes (imagens de alta resolução obtidas sem interferência de fatores meteorológicos externos) será do interesse dos profissionais da Marinha e se a tecnologia terá potencialidade para ser empregue na Marinha Portuguesa no cumprimento das competências que lhe estão atribuídas, caso ainda não se verifique.

Capítulo 2. Enquadramento Radares de Abertura Sintética

2.1. História do Radar de abertura sintética (SAR)

O Radar de Abertura Sintética (SAR)¹, foi patenteado nos Estados Unidos da América (EUA) em 1954 por Carl A. Wiley, que já o havia inventado em 1951 enquanto desenvolvia estudos acerca de mísseis balísticos intercontinentais (ICBM) ao serviço da *Goodyear Aircraft*. Seguiram-se-lhe investigações levadas a cabo pelas universidades de Illinois e de Michigan tentando ampliar o desenvolvimento desta tecnologia. Em 1957, um investigador da Universidade de Michigan obteve a primeira imagem SAR. Contudo, não obteve grande sucesso devido à reduzida resolução então obtida [9].

Nos 20 anos seguintes sucederam-se estudos e testes adicionais, que culminaram no lançamento do primeiro satélite que integrava esta tecnologia - o SeaSAT, lançado a 27 de junho de 1978, foi o ponto de viragem.

A figura 1 representa os principais satélites que fazem uso da tecnologia SAR, dos quais realçamos, de seguida, os que tiveram maior impacto no desenvolvimento da tecnologia SAR:

- **SeaSAT**, surge em 1978, 1º radar civil de imagens SAR numa missão experimental de observação da Terra durante 106 dias pela *National Aeronautics and Space Administration/Jet Propulsion Laboratory (NASA/JPL)*. Este satélite comprovou a sua eficácia na recolha de informação oceânica, obtendo mais dados do que os obtidos durante 100 anos de pesquisa a bordo de navios [4].
- **Magellan**, foi lançada na sua primeira missão, em 1989, a Vénus. A missão foi concluída em 1991 com sucesso obtendo o 1º mapeamento da cobertura do planeta [10].
- **ERS-1** (*European Remote-Sensing Satellite-1*) de 1991, é o primeiro satélite do programa de observação terrestre da Agência Espacial Europeia (ESA), após o fim de vida útil e verificado o seu

¹ Acrónimo resultante da designação em inglês "Synthetic Aperture Radar"

desempenho, surge, com base no conhecimento adquirido o **ERS-2** em 1995 [11].

- **SIR-C/X-SAR** (*Shuttle Imaging Radar with Payload C/X-SAR*) é o resultado da cooperação entre a *NASA/JPL*, a *DARA/DLR* (*German Aerospace Center*) e a *ASI* (*Agenzia Spaziale Italiana*), os quais desenvolveram uma antena de radar passível de operar em 3 bandas diferentes (C, L e X). O sistema de hardware, permite dimensões que permitem ser transportada a bordo do compartimento de carga do “*Space Shuttle Endeavour*” [4].

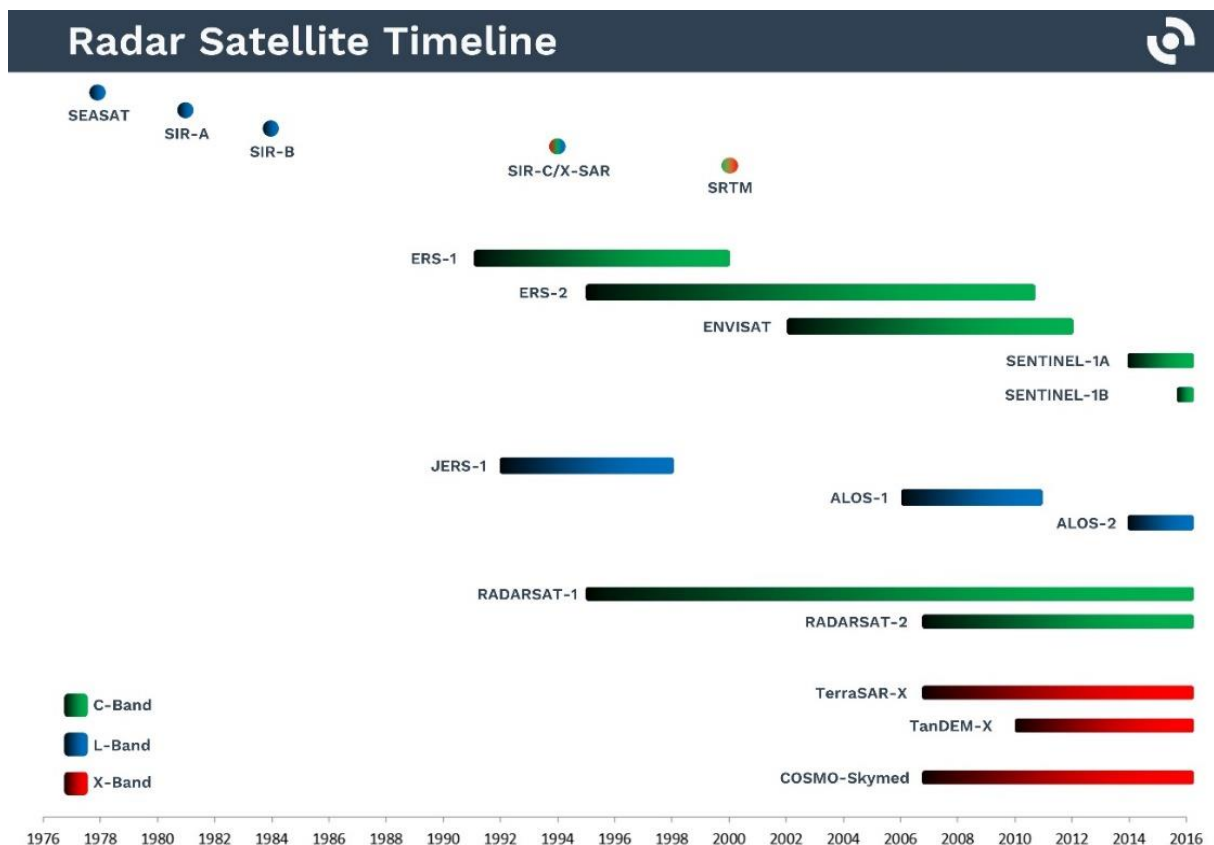


Figura 1. Principais satélites que utilizam tecnologia SAR²

Atualmente, são muitos os países que estudam e usam esta tecnologia a bordo de satélites de entre os quais destacam-se: EUA, Japão, Canadá,

² Fonte: Curso Echoes in Space” do EO College

Alemanha, Índia, Argentina, Itália, Espanha, Coreia do Sul e os 22 estados membros da ESA. Portugal desde 14 de novembro de 2000 através do Programa *Espaço* da Fundação para a Ciência e Tecnologia integra a ESA (FCT, 2018). Por outro lado, o desenvolvimento e aplicabilidade da tecnologia SAR tem despertado interesse pela sua capacidade diversificada de aplicação tecnológica.

Quadro 1. Organizações e respetivos satélites com tecnologia SAR

Organização	Satélites	Tipo de Missão
<i>European Space Agency</i> (ESA)	ERS-1, ERS-2, Envisat, Sentinel-1	Estudar e monitorizar o ambiente da Terra; monitorizar e gerenciar os recursos da Terra, compreensão da estrutura e dinâmica da crosta terrestre e do interior.
<i>Japan Aerospace Exploration Agency</i> (JAXA)	JERS-1; ALOS-1; ALOS-2	As aplicações da missão se concentram em: levantamento de fenómenos geológicos, uso da terra (agricultura, silvicultura), observação de regiões costeiras, mapas geológicos, meio ambiente, monitoramento de desastres, etc.
<i>Canadian Space Agency</i> (CSA)	Radarsat-1, Radarsat-2, Radarsat constellation	Satélite de observação da Terra com o objetivo de monitorar a mudança ambiental e os recursos naturais do planeta na região de micro-ondas.
<i>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.</i> (DLR)	TerraSAR-X, TanDEM-X;	Aplicações científicas em áreas como: hidrologia, geologia, climatologia, oceanografia, monitoramento ambiental e de desastres, e cartografia.
<i>Indian Space Research Organization</i> (ISRO):	RISAT-1, NISAR (com NASA)	A missão é usar a capacidade de observação de SAR em aplicações como agricultura, silvicultura, umidade do solo, geologia, gelo marinho, monitoramento costeiro, identificação de objetos e monitoramento de inundações.
<i>Comision Nacional de Actividades Espaciales</i>	SAOCOM	Gestão de emergências ou desastres naturais e monitoramento de recursos naturais.
<i>Italian Space Agency</i> (ASI)	COSMO-Skymed	Observação e exploração de dados da comunidade militar e civil (institucional, comercial).
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)	PAZ	Observação da terra por satélite, e igualmente para fins de segurança e defesa.

<i>Korea Aerospace Research Institute (KARI)</i>	KOMPSat-5	Fornecer imagens para aplicativos de informações geográficas e monitorar desastres ambientais.
<i>National Aeronautics and Space Administration (NASA)</i>	NISAR (com ISRO)	Otimizado para medir mudanças sutis da superfície da Terra associadas a movimentos da crosta e superfícies de gelo.

Adaptado de UNAVACO, 2018.

Os satélites que possuem tecnologia SAR, quer os já referidos como outros também apresentados no Quadro 1, são suportados por vários países. A informação é recolhida pelas várias agências responsáveis que frequentemente partilham informação através de parcerias, por exemplo, para situações de controlo e apoio aquando da ocorrência de desastres naturais [12]. No quadro 1, apresentam-se algumas agências e organizações cujos satélites transportam tecnologia SAR.

2.2. Aplicações do SAR

O acesso à eletrónica, que desde a invenção do conceito SAR nos anos 50 e da sua aplicação a partir dos anos 70, sofreu redução exponencial de custos, tem conduzido a um interesse crescente no estudo da tecnologia o potencial da tecnologia SAR despertou na comunidade científica a curiosidade sobre a sua utilidade num crescente número de aplicações, centrando o seu uso ao nível científico.

Porém a preocupação no desenvolvimento da tecnologia SAR no âmbito militar levou ao desenvolvimento de parcerias mistas entre instituições militares e empresas civis. Segundo a *Business Wire* (2017) existem estudos que referem que o mercado da tecnologia SAR continuará a crescer até 2022. A *coherent market insight* (2017) também defende essa ideia, mas com uma perspetiva mais objetiva, referindo que os Estados Unidos têm dominado a quota de mercado SAR em 2016 e que se prevê continuem a dominar até 2025 [13]. Fundamenta o facto, com a utilização da tecnologia SAR em veículos aéreos e satélites, sobretudo militares. É o caso dos UAVs que têm vindo a ser desenvolvidos para missões de apoio militar e operações de defesa, determinando o crescimento do

mercado. Ainda, como indicador deste crescimento, refere a colaboração entre o *US Department of Defense* e a *NASA*, que têm incrementado a sua atividade com satélites SAR.

Porém o interesse no SAR não se limita aos Estados Unidos e à Europa, estende-se a outros como a China, a Coreia do Sul, a Índia e o Japão, com a emergente necessidade das operações de detecção e identificação, contribuindo para o crescente interesse do SAR no âmbito militar.

A tecnologia SAR à semelhança de outros sistemas de sensores remotos pode ser instalada tanto em plataformas aéreas, como espaciais, cujas designações em inglês e de uso internacional, e, que por isso também usaremos doravante, são respetivamente o *airborne* e o *spaceborne* [14]

Ambas apresentam vantagens e desvantagens. Os sistemas *airborne*, apresentam, relativamente aos *spaceborne*, as vantagens de serem mais flexíveis na sua capacidade de deslocalização e de captação de dados, em qualquer lugar a qualquer momento, visto que a geometria de visualização e cronograma de captação de dados do *spaceborne* são limitados pelo padrão da sua órbita. No entanto, apresentam a desvantagem de serem influenciados por variações de velocidade, movimentos da aeronave e condições atmosféricas adversas, carecendo de equipamento adicional de navegação e de correção dos movimentos. Por outro lado, como vantagem, os sistemas *spaceborne* não são afetados por movimentos bruscos, apresentando órbitas muito estáveis, necessitando de correção geométrica apenas para os efeitos de rotação e da curvatura da Terra, e ainda, a vantagem de poder captar imagens mais rapidamente, numa área maior e com geometria de visualização mais consistente [14].

2.2.1. Aplicações de âmbito civil

O satélite Sentinel-1 que integra o programa *Copernicus*, disponibiliza dados de acesso livre e sem custos, tornando-se de grande utilidade de vigilância marítima que vai desde monitorização e avisos sobre navios, níveis de água,

poluição das águas e detecção de rotas adequadas aos quebra gelos, identificando as melhores zonas de passagem em segurança, fundamentais à navegação.

Várias são as agências que tiram partido destas vantagens únicas “de operar durante o dia, durante a noite e independentemente das condições atmosféricas”³. [4]⁴

No âmbito civil, o *Echoes in Space* [4] divide as aplicações em três grandes áreas:

- Observação terrestre e técnicas de observação contínua;
- Observação marítima e atividades correspondentes,
- Impacto em desastres ambientais.

A primeira, aponta a tecnologia como essencial à preservação das florestas, que são habitats de grandes quantidades de espécies e importantes reservas de recursos e alimentos. Considera o mapeamento durante longos períodos de tempo (*Time Series*), combinando imagens de satélite para obtenção de características sazonais e sua alternância ao longo do tempo o que é uma vantagem relativamente aos sistemas óticos.

Alguns satélites têm a capacidade de emitir em diferentes comprimentos de onda, usualmente entre bandas⁵ X, L, C ou P, que apresentam diferentes níveis de penetração nos materiais [4]. A possibilidade de recurso a outras técnicas SAR como a polarimetria, que permite obter imagens com características de distinção de cores, aspeto, rugosidade, padrões e intensidade radiométrica, permite obter diversa informação dos tipos de vegetação, respetivos volumes e saúde das florestas, efetuar diversos mapeamentos, apurar quantidades perdidas e repostas, idade do suporte florestal e derivação da biomassa, cruciais para a compreensão do ciclo do carbono, essencial à estabilidade do clima, permitindo a respetiva monitorização. Em suma, a tecnologia SAR permite mapear sob a biomassa terrestre, os movimentos de glaciares, a ionosfera, a topografia terrestre sob grande vegetação e a geologia de subsuperfície.

³ Tradução a partir do Inglês.

⁴ Olaf Triechmann

⁵ Bandas Radar (Banda P [0.25 - 0.5GHz/ 60 – 120cm]; Banda L [0.5 - 1.5GHz/ 20 - 60cm]; Banda C [4 - 8GHz/ 3.75 – 7.5cm]; Banda X [8 – 12GHz/ 2.5 - 3.75cm]).

Nas zonas urbanas esta tecnologia permite efetuar a monitorização da extensão, da estrutura e do crescimento das cidades, identificar e quantificar os objetos presentes (estradas, edifícios ou vegetação urbana), possibilitando criar modelos de superfície digitais em 3D, muito importantes para o planeamento, tomada de decisões e possibilitar melhores práticas de ordenamento.

Considerando que, segundo a ONU (2018) mundialmente existem aproximadamente 800 milhões de pessoas que padecem de dificuldades de acesso a produtos alimentares, ainda que não exista escassez de produção, torna a fome e a manutenção de recursos a si associados, um desafio do século XXI a ser observado, estudado e analisado [15]. A aplicação de tecnologia SAR, pode ter um enorme contributo neste campo da sustentação, segurança e eficiência da prática agrícola, através da análise objetiva de diferentes parâmetros e apurar variação de tipos de cultura, localização e estado de saúde do solo para potenciar a escolha das melhores áreas disponíveis para a agricultura.

O papel da tecnologia SAR expande-se para além do mapeamento ou recolha de dados. Pode ser utilizada como um elemento importante de previsão de risco, de contenção e apoio em desastres naturais. Os métodos clássicos de previsão de risco, que *"compõem-se da evolução de ideias e crenças formadas com base em padrões observados no passado, que suportam decisões presentes, cujos resultados se projetarão no futuro"* [16, p. 19], limita-se a monitorização de locais acessíveis ao homem de forma a obter-se os registos de qualquer natureza. O SAR é uma mudança de paradigma, colmata estas carências funcionais de ordem operacional que seriam impercetíveis por outros meios, impossibilitando registos.

Por exemplo, as imagens de satélites SAR permitem o estudo de qualquer local, através de monitorizações constantes obtidas ao longo da superfície terrestre e com a capacidade de observar deformações terrestres mínimas, por vezes de milímetros [17] [18] . Recorrendo a técnicas únicas como *DInSAR* e *PSInSAR*⁶, é possível juntar imagens e recolhê-las durante longo período de

⁶DInSAR (interferometria diferencial) técnica de medição de diferentes fases pela combinação de duas imagens de radar obtidas por dois satélites em diferentes datas de aquisição.

tempo e através das mesmas observar e compreender o movimento de placas, a evolução de câmaras vulcânicas despoletada pelos movimentos do magma ou pressão de gases, potencia a criação e evolução de modelos de movimento em profundidade. Estas técnicas apresentam alguma capacidade de previsão sísmica e de erupções vulcânicas, mesmo sem que haja registos históricos de tais fenómenos e/ou mesmo que os locais sejam inacessíveis.

A tecnologia SAR tem imagens de elevadíssimo valor por não serem condicionadas pela cobertura de nuvens, possibilitando melhor controlo de áreas de operações e consequentemente ações de apoio e resposta mais seguras evitando incidentes adicionais de segundo grau resultantes das próprias atividades da fase de recuperação. O Sentinel 1a e Sentinel 1b, são exemplo de satélites que disponibilizam informação deste tipo, utilizada por diversas agências a nível mundial. Estes satélites permitem a antecipação de eventuais deslizamentos de terra, de inundações, terremotos, erupções vulcânicas e outros fenómenos naturais que através de imagens sequenciais (conhecer ou registar sequências de acontecimentos durante ou *à posteriori* de um evento), afere com precisão e num curto espaço de tempo onde, quando, qual a amplitude dos danos. É completada com a disponibilização da informação com acesso em qualquer parte do globo de forma muito célere e oportuna. Contudo, para se obter o panorama ideal, é crucial a maior quantidade possível de informação. Assim, diversos países associaram-se nesse esforço, disponibilizando também a sua informação satélite à "*International Charter Space & Major Disaster*", que por sua vez a disponibiliza para utilização comum de várias agências a nível mundial [16]

A criação de bases de dados SAR obtidos por satélite, e disponibilizados livremente na internet, tem sido uma preocupação, Sikora (2010) pretende com recurso ao "*SAR-derived wind speed*" (*SDWS*) descobrir características dinâmicas

PSInSAR (Interferometria por dispersão persistente) técnica particular de interferometria, que usa muitas imagens de radar obtidas ao longo do tempo, combinadas numa longa série. Permite identificar dispersores, considerados estáveis por não mudarem significativamente ao longo do tempo, permitindo assim, mapear deformações no solo em escala de milímetros.

e morfológicas do fenómeno meteorológico marítimo a uma escala microscópica, mesoscópica⁷ [19] e sinótica, e demonstrar como os dados podem coadjuvar os analistas a efetuar previsões meteorológicas e pesquisa ambiental marítima. Sikora (2010) tem colaborado com outros investigadores canadianos no desenvolvimento do "*Spaceborne Ocean Intelligence Network*", com o objetivo de automatizar a deteção SAR de "*Sea surface temperature (SST) fronts*".

Esta preocupação de Sikora (2010) deve-se à capacidade da tecnologia SAR poder ser aplicada às zonas marítimas e alagadas, por exemplo a superfície do oceano, possui uma rugosidade dinâmica e instável devido a vários parâmetros contributivos. A tecnologia SAR permite produzir imagens e mapeamento das suas influências sobre essa superfície, nomeadamente força, altura e direção do vento sobre as correntes. Permite também a vigilância, a identificação e mapeamento de locais de derrames, deteção dos navios que os efetuam e monitorização de tráfego marítimo. Não menos importante é o seu papel, nas altas latitudes, no mapeamento dos grandes glaciares, e o estudo das suas dinâmicas, para tal, monitorizando os degelos que afetam o nível médio do mar.

Não menos relevante as superfícies de água menores, como pequenas lagoas ou zonas húmidas de transição, verifica-se que o SAR permite recolher informação diversa no momento ou de forma dinâmica (mapeamentos de quantidades de água, de teor de sal e ainda de vegetação presente) com grande potencial, para a preservação da biodiversidade através de várias técnicas e técnicas variadas.

A questão ambiental, é outra preocupação mundial que poderá beneficiar, com a implementação da tecnologia SAR, na vigilância e monitorização contínua, de forma a reduzir e prever os riscos de desastres ambientais, contribuindo para um desenvolvimento mais sustentável.

No entanto, a tecnologia SAR requerer um estudo aprofundado das suas características, potencialidades, aplicações e desenvolvimento. A fim de colmatar estas lacunas o *EO College* disponibiliza cursos específicos sobre a tecnologia

⁷ Fenómenos que ocorrem em uma escala de tamanhos intermediária entre o macroscópico e o microscópico.

SAR. No entanto, para um estudo autônomo existem outros recursos e programas que permitem o acesso as imagens SAR, obtidas por satélite disponibilizadas globalmente às entidades interessadas dentre as quais, no quadro 2, destacam-se algumas organizações e links de acesso aos dados SAR.

Quadro 2. Organizações que disponibilizam dados SAR na web

Nome	Web
Ocean Virtual Laboratory da ESA	https://ovl.oceandatalab.com
SWOS - Satellite-based Wetland Observation Service	http://swos-service.eu/swos-portal/
Copernicus Data and Exploitation Platform	https://code-de.org/
Airbus	https://terrasar-x-archive.terrasar.com/
New Global Forest/Non-Forest Maps	http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/palsar_fnf/registration.html
Uninhabited Aerial Vehicle Synthetic Aperture Radar	https://uavsar.jpl.nasa.gov/
USGS science for a changing world	https://earthexplorer.usgs.gov/
UAF Alaska Satellite Facility	https://vertex.daac.asf.alaska.edu/
Copernicus Open Access Hub	https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home

2.2.2. Aplicações de âmbito militar

O interesse verificado pela evolução deste mercado SAR, com base no potencial da tecnologia, despoletou o interesse no domínio militar, que não só tem desenvolvido investigação sobre as suas potencialidades, como a têm testado e usando-a em vários teatros operacionais de missões, tendo já atingido a sua maturidade.

Uma tecnologia, que havia sido inicialmente usada essencialmente para mapear a Terra a partir do espaço, foi referido por McHale (2006) com o papel importante que desempenharia no "*U.S. Department of Defense's space-based radar programs*". Esta tecnologia já havia sido utilizada, pela *NASA* e por outras agências governamentais bem como pelos militares em missões críticas. E que continuam em desenvolvimento programas com grande abrangência, desde o

mapeamento de planetas, até aplicações para inteligência, vigilância e reconhecimento (ISR)⁸ em teatros de batalha [20]

As características desta tecnologia, imagens de alta-resolução, não condicionadas pelas condições atmosféricas ou pelos ciclos dia/noite, podendo além disso, complementar fotografia e outras capacidades das imagens óticas, levou a tornar-se numa missão do programa da *U.S. Air Force's Space Based Radar (SBR)*. Este programa "*pretende providenciar uma cobertura mundial e constante de imagens SAR, para detecção de alvos em movimento na superfície terrestre ou marítima, sua identificação, geolocalização e perseguição, acompanhada de informação geomorfológica da superfície, em alta resolução e transmiti-las para os utilizadores*" [20, p. 2]⁹.

Vários têm sido os estudos e testes feitos à tecnologia como por exemplo o teste feito pela Raytheon-led, selecionada pela "*US Navy*", no "*Grumman F-14 Tomcat*" [21] ou no exercício do Tridente Warrior 2011 onde o *GA-ASI*¹⁰, baseados no SAR, demonstrou o sucesso das capacidades dos recursos ISR marítimos [22]. *Northrop Grumman (S7D)*, analisou a aplicação da tecnologia SAR, nos *AWACS*¹¹ o *Surveillance Radar* que se tornou um elemento indispensável nas operações aéreas modernas. A necessidade de acompanhar e modernizar o sistema por forma a acompanhar as missões num mundo em constante mudança e que tornou as missões alvo bastantes complexas, prevendo assim, que o valor tático e estratégico dos *AWACS* esteja a crescer desde a sua aplicação nos anos 1970, continuem a crescer no século XXI.

Outros exemplos práticos de aplicações SAR, de cariz militar é o uso desta tecnologia aplicada nos *F-22* e *F-35*, complementada com um sistema eletro-ótico. O *F-22* é considerada a melhor plataforma "*air-to-air*" do mundo. O seu uso no *E-8 Joint STARS*¹² é considerada de grande utilidade pela sua capacidade em perseguir alvos em movimento numa área de uma milha quadrada, capaz de

⁸ Acrónimo resultante da designação em inglês "*Intelligence, Surveillance and recognition*"

⁹ Tradução a partir do inglês.

¹⁰ *General Atomics Aeronautical Systems, Inc.*

¹¹ *Airborne Warning and Control System*

¹² *Joint Surveillance and Target Attack Radar System*

focar alvos de particular interesse e fotografar, independentemente das condições atmosféricas ou luminosidade. Informação que pode ser rapidamente partilhada com forças aliadas. Esta informação possibilita revelar a posição de veículos de combate inimigos, o seu trajeto e velocidade. Pretendia-se substituir estas plataformas, por *UAVs*, contudo tem sido muita a controvérsia da credibilidade desta opção, dada a importância no terreno de batalha [23]

O *Boeing P-8 Poseidon* contém um “*APY-10 multi-mode synthetic aperture radar*” define-o como uma patrulha marítima de longo alcance, com defesas anti-submarino e anti-navio, e como uma aeronave ISR (inteligência, vigilância e reconhecimento) [24] [25].

Outro sistema SAR, o *AN/ZPY-1 Small Tactical Radar-Lightweight*, conhecido por *STARLite*, é segundo [26] vocacionado para aplicações de reconhecimento tático, por poder oferecer três modos SAR: *GMTI (Ground Moving Target Indicator)*, *DMTI (Dismount Moving Target Indicator)* e *MMTI (Maritime Moving Target Indicator)*, capaz de ser operado em todas as condições ambientais, vigilância, deteção de alvos estacionários, pessoas e veículos em movimento. O exército americano mostrou particular interesse neste radar para o *MQ-1C Gray Eagle* [25]

Segundo Richard Tomkins (2017) [27], também a *Royal Navy* tem feito atualizações. Segundo o mesmo, a *Thales UK* teria sido convocada para fornecer sistemas de vigilância para os helicópteros *Merlin MK2* da *Royal Navy* prevendo melhorar em muito as suas capacidades. O Sistema *Crowsnest* seria montado nos novos helicópteros, cuja frota servirá a “*Royal Navy*” até 2029, no qual está presente a tecnologia ISAR [27].

A publicação da *IHS Jane's 360* (2015) [28] dá-nos a conhecer os helicópteros *Wildcat*, preparados para embarcar no *Destroyer HMS Duncan*, melhorando as suas capacidades comparando às atuais capacidades dos *Lynx HMA.8*. Aquele modelo, possui uma unidade de *e-scan* que pode operar em diversos modos, um dos quais ISAR para identificar alvos até 80 milhas náuticas e um SAR para mapeamento terrestre e reconhecimento de condições

ambientais. Sistema que permitirá uma grande capacidade de perseguir alvos e efetuar vigilância aérea [28].

Outro sistema a incluir esta tecnologia, é o *Synthetic Aperture Sonar (SAS)*. A *Royal Navy* tem intenções de incluir também o *AquaPix Miniature Interferometric Synthetic Aperture Sonar* e o *Real-Time SAS Signal Processor* no *Atlas SeaCat Autonomous Underwater Vehicle (AUV)* [29].

Também a Marinha Espanhola já se lançou no estudo e aplicação de tecnologias SAR. Aplicou-a no *Skeldar V-200 UAV*, desenvolvido pelo *Saab Group*, o qual possui um radar SAR, com o objetivo de apoio a missões, avaliação de panorama e controlo de fogo indireto e apoio logístico, por exemplo transporte navio-navio e navio-terra em condições climáticas difíceis (naval-technology, 2013)

Relativamente à Marinha Italiana, destaca-se o seu Centro de Operações Marítimas em Santa Rosa, perto de Roma, inaugurado a 19 de janeiro de 2012 [30] com o objetivo estratégico da vigilância marítima de zonas de interesse e capacidades de projetar-se também no ambiente marítimo. Permite controlo de forças, que integrem navios, aviões e submarinos. O centro obtém todo o tipo de dados para obter *Maritime Situational Awareness (MSA)* e gerar *Recognized Maritime Picture (RMP)*, reformuladas através de diversos sensores, dos quais faz parte a tecnologia ISAR.

As Forças Armadas Francesas, segundo noticiado por Mariana Iriarte (2017) [31] também já utilizam a tecnologia SAR, tendo adotado o radar PicoSAR AESA (*Active electronically scanned array*) *Leonardo* no novo UAV de patrulha, para detetar alvos em movimento e recolher imagens da superfície [31].

O desenvolvimento da tecnologia SAR, tem ainda dado origem a novos ramos de atividade e desenvolvimento tecnológico. Majumdar (2017) [32] referiu que os satélites, quer militares, quer civis, são uma vantagem militar. Que

"atualmente, porque os Estados Unidos detêm vantagem sobre Rússia e China, estes países, nos seus esforços para inverter tal situação em caso de conflito bélico, decidiram desenvolver armas e capacidades para evitar a supremacia americana no espaço. Esforço, que se traduz no

desenvolvimento das suas capacidades para ataques eletrônicos e em cyber-warfare¹³, focando quatro objetivos fundamentais: - impedir comunicações satélite militares (SATCOM) e imagens de satélite SAR, para além de melhorar as suas próprias capacidades nos sistemas satélite de navegação (GNSS) e "US Global Positioning System" (GPS)"¹⁴. [32, pp. 1-2]

¹³ Cyber-warfare, também conhecida por guerra cibernética, é uma modalidade de guerra onde a conflitualidade não ocorre com armas físicas, mas através de confrontação com meios eletrônicos e informáticos no chamado ciberespaço. <<https://educalingo.com/pt/dic-pt/ciberguerra>>. Mar 2018

¹⁴ Tradução do Inglês para português.

Capítulo 3. Fundamentos teóricos do SAR

Neste capítulo, apresenta-se um resumo da teoria do conceito SAR e como ocorre o processamento da imagem. Para tal, segue-se de perto a terminologia e notação desenvolvida por Marques (2004) [33] na sua Tese de Doutorado *"Moving objects imaging and trajectory estimation using a single synthetic aperture radar sensor"* [33].

Os SAR obtêm dados de uma faixa de terreno de grandes dimensões, paralela à trajetória de voo, que após processamento formam imagens de alta resolução.

O tempo de processamento associado a esta tecnologia, para que possa disponibilizar a informação útil ao utilizador, é relativo, dependendo da especificidade de cada sistema. Desde a recolha dos dados em bruto, processamento para formação de imagem e posterior divulgação: Este, varia habitualmente entre escassos segundos e várias horas, considerando o respetivo método de captação. Por exemplo, se a recolha é feita com recurso a veículo aéreo diretamente ligado ao utilizador ou se é feita por satélite e disponibilizada posteriormente por agências.

Foi desenvolvido um programa num *workshop* na *9th International Summer School on Radar/ SAR* no *Fraunhofer Institute*, na Alemanha, por forma a fazer uma demonstração da criação de uma imagem a partir de dados em bruto. Dados estes disponibilizados na realização do *workshop*.

Neste sentido, com base nele, foi desenvolvida uma versão neste trabalho, que se encontra no anexo 2, por forma a demonstrar o processamento teorizado.

3.1. Equação de Radar para os sistemas SAR

Na figura 2, podemos observar um esquema do princípio de funcionamento de um radar convencional. Após o radar emitir um sinal (um pulso de curta duração e com grande potência), por uma antena, na direção de uma zona de interesse, têm como objetivo obter os respetivos ecos de retorno, que permite detetar os alvos e estimar os respetivos parâmetros.

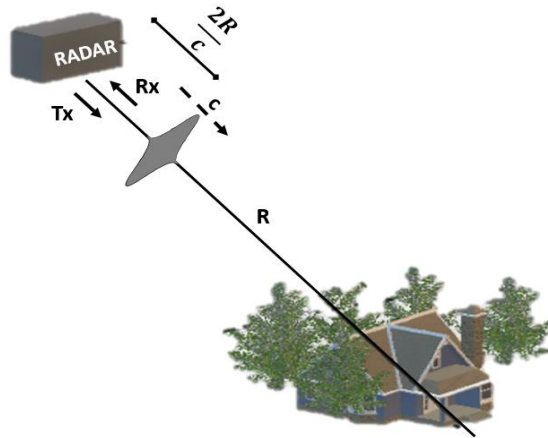


Figura 2. Esquemática da transmissão de dados de um satélite. c = Velocidade da luz; R = distância ao alvo

De seguida, partindo da equação do Radar convencional obtém-se a equação para os SAR.

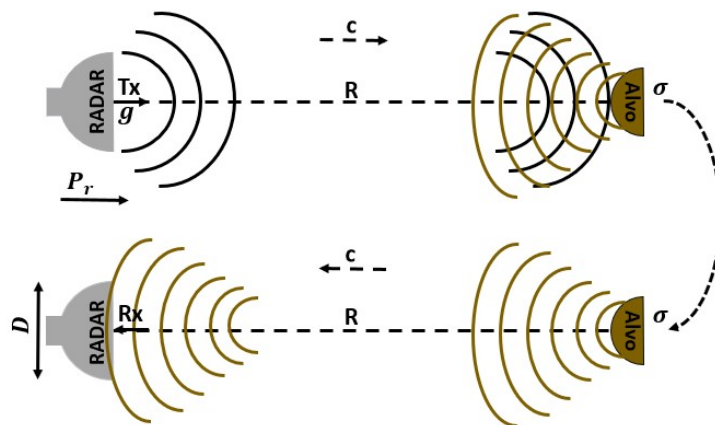


Figura 3. Transmissão e receção de um sinal por um radar através da reflexão num alvo.

Legenda: P_t = Potência de Transmissão; P_r = Potência Recebida; σ = Secção Transversal (Radar Cross Section); R = distância do radar ao alvo; D = Largura real da antena e g = Ganho da antena;

Considerando o esquemático da figura 3 que ilustra a transmissão e receção de um sinal utilizando a mesma antena. Após a transmissão do sinal, a energia, dependente da P_t e do g , propaga-se de modo esférico ao longo da distância R , segundo o fator $\frac{1}{4\pi R^2}$.

Quando a energia atinge um alvo é refletida, segundo o σ , expande-se novamente na direção oposta, segundo o mesmo fator, até regressar de novo à

antena, cuja abertura condiciona a energia que recebe. Nesse sentido a potência recebida será a

$$\text{Equação Radar: } P_r = \frac{P_t g}{4\pi R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi R^2} \cdot D = \frac{P_t g}{(4\pi)^2 R^4} \sigma \cdot D . \quad (1)$$

A equação de onda de um radar SAR (2), está dependente da equação de onda do radar convencional (1) (desenvolvida no anexo 1). A diferença baseia-se no varrimento feito pelo radar SAR, onde são emitidos e recebidos sucessivos sinais, pelo que, além do processo de um radar convencional, ou seja, a potência recebida por pulso, é necessário ter em conta o número de impulsos no tempo correspondente à abertura sintética, N_A , e do tempo de cada pulso, T_p , obtendo-se assim a

$$\text{Equação Radar SAR: } P_{rSAR} = P_r \cdot N_A \cdot T_p = P_t \cdot T_p \cdot PRF \cdot \frac{g^2 \lambda^3}{(4\pi)^3 R^3 VL} \sigma . \quad (2)$$

3.2. Geometria Radar SAR

Para apoiar a apresentação da teoria SAR ilustra-se, na figura 4, a geometria de aquisição efetuada pelos sistemas, baseada numa das geometrias de aquisição de dados, o método *Stripmap*¹⁵.

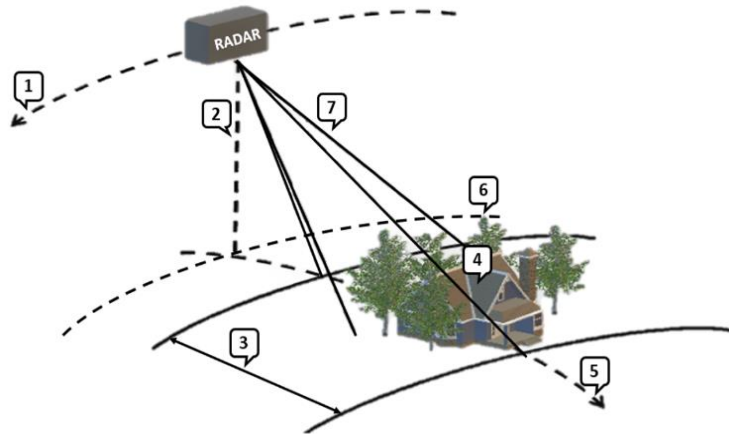


Figura 4. Geometria Stripmap do Radar SAR

Os fatores associados à geometria são: 1 – direção em azimute (*Azimuth*), no qual o radar se desloca a uma velocidade V ; 2 – distância ao Nadir, que é o ponto projetado na superfície, exatamente na vertical do ponto em que se

¹⁵ O conceito *Stripmap* é apresentado no subcapítulo 2.4 conjuntamente com as principais geometrias de aquisição de dados pelos sistemas SAR.

encontra o radar; 3 – largura de faixa visível (*Swath Width*), esta, é a área visível à passagem do radar; 4 – “Pegada” (*Footprint*); 5 – direção em alcance do radar no solo, obtida a partir do Nadir (*Ground Range*); 6 – projeção em terra do percurso que o satélite efetua (*Satellite Ground Track*); 7 – alcance (*Slant Range*).

O radar, transportado por aeronaves (*airborne*) ou satélites (*spaceborne*), vai fazendo um varrimento ao longo de uma trajetória (1 da figura 4).

À medida que se desloca, emite sinais, iluminando uma área no solo de largura (3 da figura 4), recolhendo os dados que retornam à antena.

A cada momento, a área iluminada tem a designação de “pegada”, na qual ilumina vários alvos. Devido ao seu deslocamento cada um desses alvos é iluminado durante um período de tempo, L , como ilustrado na Figura 5-b).

O conceito de abertura sintética, baseia-se então em simular uma antena de maiores dimensões, uma vez que o sistema vai processar todos os dados recolhidos sobre cada alvo que iluminou.

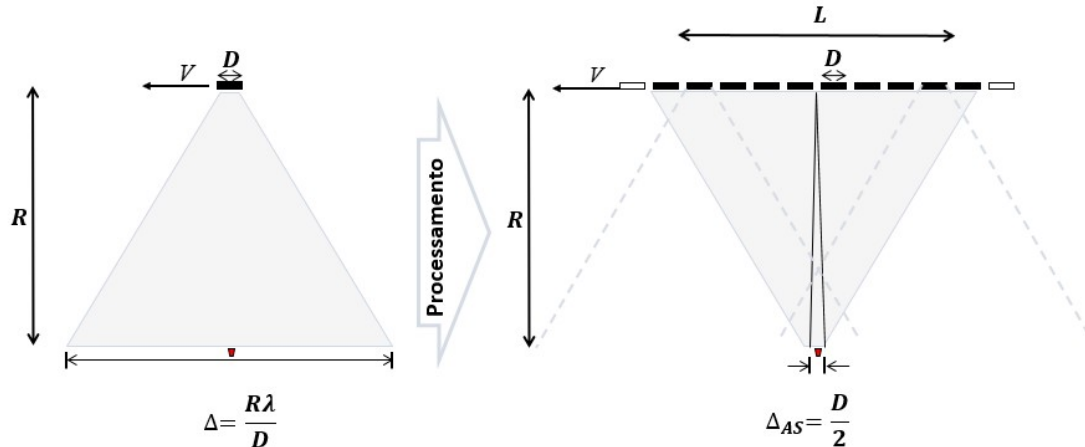


Figura 5. Resolução dependente do tamanho da antena, imagem alterada da DLR, representativo à esquerda uma antena de Abertura Real e à direita de Abertura Sintética.

Na figura 5, vemos na imagem à esquerda a resolução de uma antena de abertura real com uma antena de comprimento D e na imagem da direita vemos que o radar faz um varrimento com uma antena, também de comprimento D . Após reunir toda a informação adquirida a cada momento, simula uma antena de maiores dimensões (abertura sintética), de comprimento L .

O interesse de simular uma antena de maiores dimensões é a melhoria da resolução, ou seja, quanto maior for a abertura da antena, menor será o feixe de resolução, dada a expressão

$$\Delta_{AR} = R\alpha = \frac{R\lambda}{D}, \quad (3)$$

a resolução de uma antena de abertura real com R = alcance e $\alpha = \frac{\lambda}{D}$ = ângulo de difração (λ = comprimento de onda e D = Abertura física da antena).

A título de exemplo, são apresentados na tabela 1 os valores de resolução correspondentes para diferentes tamanhos de antena.

Os parâmetros utilizados correspondem ao Satélite ERS-1 [34], com banda C ($f = 5.1\text{GHz}$); c = velocidade da luz no vácuo = $299.792,458 \text{ Km/s} \approx 300.000 \text{ Km/s}$, para questões de cálculos e arredondamentos; assume-se $R = 850\text{Km}$.

Cálculo Auxiliar:

$$\lambda = \frac{c}{f} \approx 5.9 * 10^{-5} \text{ Km}$$

Tabela 1. Valores de resolução correspondentes para diferentes tamanhos de antena

<i>D</i>	<i>Δ_{AR}</i>
10m	5Km
100m	500m
5Km	10m

Face aos resultados observados, é nítida a importância de aumentar o tamanho da antena para melhorar a resolução. Contudo, o aumento do tamanho da antena é crítico em termos práticos, por exemplo, para poderem ser transportada, pelo que o aumento simulado da antena é mais vantajoso por permitir obter imagens de maior resolução, com utilização de sistemas fisicamente viáveis.

3.3. Geometrias de Aquisição

À medida que a antena se desloca num trajeto na direção de azimuth vai transmitindo sinais e recolhendo os respectivos ecos, Figura 6, armazenando-os numa matriz de dados.

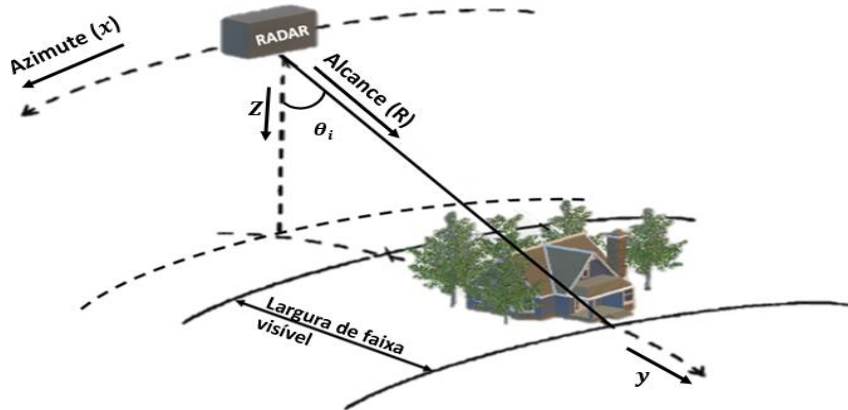


Figura 6. Geometria do esquema de aquisição radar, onde se destaca dois parâmetros, azimuth e alcance.

Existem diversas geometrias de obtenção de dados por parte dos satélites, dos quais apresentaremos os mais comuns: *stripmap mode* (SM); SAR interferométrico; *Spotlight*; SAR Inverso; SCANSAR

Na geometria SM, Figura 7, a antena ilumina uma faixa de terreno e recolhe dados continuamente, com um ângulo de nadir e um ângulo de azimuth fixos. No caso do SENTINEL-1, por exemplo, o modo SM adquire dados com uma largura de faixa visível de 80Km e com uma resolução de 5m por 5m.

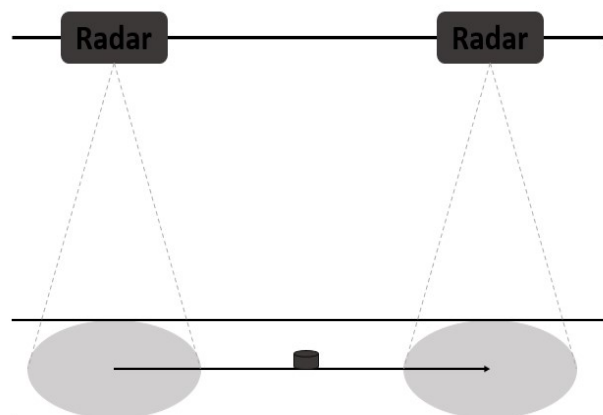


Figura 7. *StripMap mode* (SM)

Outras geometrias de aquisição de dados comuns, além do SM, são:

- InSAR (SAR interferométrico), Figura 8 – Medições feitas de dois ou mais varrimentos do tipo *stripmap*, com compensação da fase, que altera devido à diferença de tempo dos dados obtidos em cada varrimento e às diferenças na topografia do terreno. As medições poderão ser feitas pelo mesmo satélite ou através de satélites diferentes e fazerem exatamente o mesmo percurso. Esta geometria tem várias aplicações tais como, modelos de elevação digital, obter alterações na topografia, e fazer avaliações de riscos sobre estruturas terrestres [34].

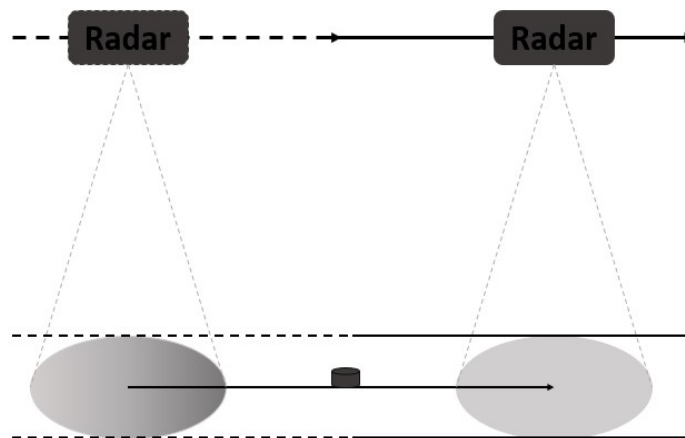


Figura 8. InSAR (Interferometria)

- *Spotlight*, Figura 9– o radar possui uma antena com capacidade de alterar a sua posição, mecânica ou eletronicamente, para iluminar uma zona de interesse durante um maior intervalo de tempo sintetizando assim uma antena de maiores dimensões. Neste sentido, dado que o sistema detecta o alvo muito mais cedo e deixa de o ver muito depois, a fase vai aumentar logo a resolução aumenta significativamente (em slow-time torna-se muito maior enquanto em fast-time se mantém). Note-se que a abertura é tão grande quanto o tempo que estamos a iluminar, logo o limite é a nossa capacidade mecânica ou eletrónica e mais uma vez, a topografia do terreno também impõe limitações. Esta geometria é utilizada quando o objetivo é obter maior resolução de uma zona específica ([34].

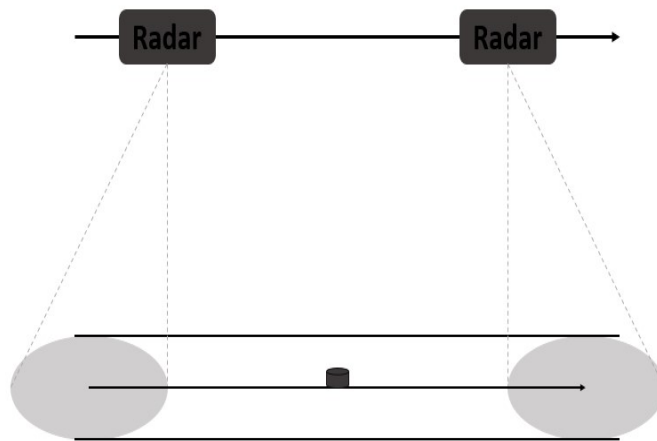


Figura 9. *Spotlight*

- ISAR (SAR Inverso), Figura 10 – nesta situação, as imagens de alta resolução são extraídas de antena estática e a detecção é feita através do movimento do alvo relativamente à antena, processando os dados de forma coerente.

Esta geometria tem relevo a nível militar, uma vez que é utilizada para obter imagens de alta resolução do alvo, ou seja, tem interesse, por exemplo, a identificação de embarcações em ações de monitorização marítima.

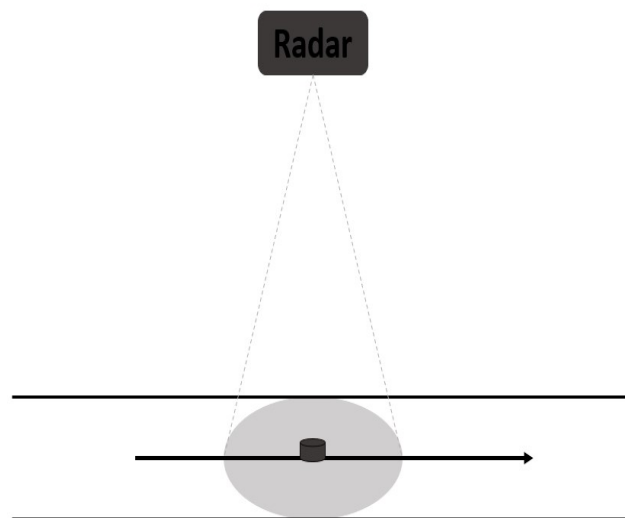


Figura 10 .ISAR (SAR inverso)

- SCANSAR, Figura 11 – Geometria é utilizada quando se pretende ter maiores faixas, o objetivo é aumentar o alcance enquanto se ilumina a superfície, ou seja,

obter um *footprint* maior, alterando o ângulo de iluminação θ_i , como apresentado na figura 8, e juntar a informação mais dispersa. Neste caso a resolução em azimute torna-se menor.

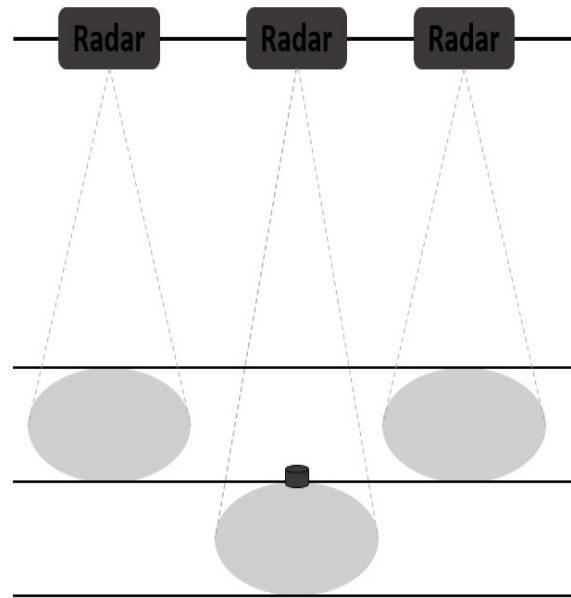


Figura 11. SCANSAR

3.4. Processamento SAR

A formação de imagem é efetuada atualmente através de algoritmos que aumentam a qualidade das imagens obtidas no menor tempo possível.

O processamento dos dados adquiridos através dos diferentes modos, e a base dos diversos algoritmos, assenta em duas fases, como representa a Figura X, comutativas, e como tal, este trabalho, vai seguidamente abordá-las em separado. Mantendo a título de exemplo o modo *Stripmap*.

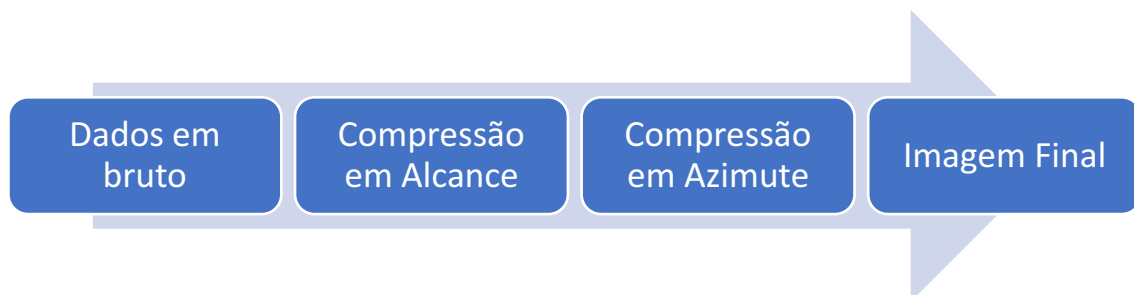


Figura 12 - Esquema do processamento de imagem SAR

Para suportar a base de processamento de dados em imagens, representado na Figura 12, foi desenvolvido um programa em MATLAB, no anexo 2, que começa por permitir abrir dados RAW e apresentá-los em módulo e em fase, Figura 13.

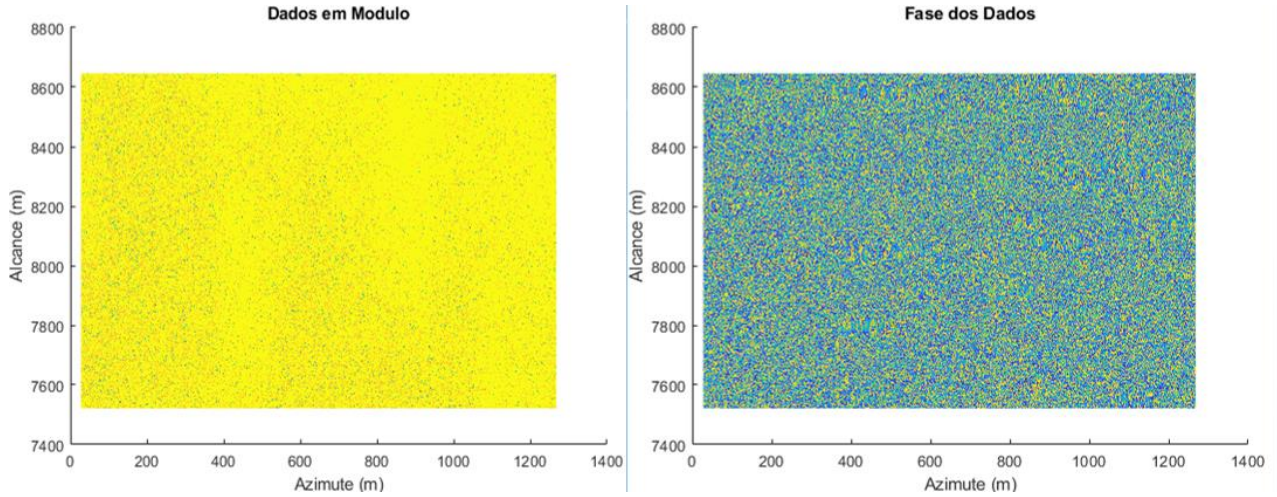


Figura 13 - Dados em bruto, módulo à esquerda e fase à direita, obtidos pelo código no Anexo 2.

3.4.1. Processamento em Alcance

Num sistema radar convencional utiliza-se um pulso de curta duração e de potência suficiente para cumprir os requisitos de SNR (*Signal Noise Ratio*), ou seja, deste modo garante-se que o pulso tem potência suficiente para ser transmitido e retornar de novo à antena com informação sobre os alvos.

Contudo, num sistema SAR, utilizam-se técnicas de compressão de impulso, ou seja, transmite-se um pulso mais longo no tempo, com modulação em frequência (chirp), de potência baixa.

O sistema transmite um impulso de banda larga, com a expressão genérica,

$$p(t) = a(t)e^{j\beta t^2} = \cos(\beta t^2) + j\sin(\beta t^2) a(t) \quad (4)$$

que se divide em parte real e imaginária, $\cos(\beta t^2)$ e $\sin(\beta t^2)$, respetivamente, com t = duração do pulso *chirp*, β = *chirp rate*, $e^{j\beta t^2}$ é o sinal modulado em frequência e $a(t)$ = amplitude introduzida pelo ganho da antena no domínio do tempo, dependente do diagrama de radiação da antena que pode variar na gama de frequências considerada.

Na receção estreita-se o sinal (*Pulse Compression*), ou seja, o pulso é comprimido, através da correlação com a função de referência, simulando assim, um pulso com tempo menor, que permite manter níveis de resolução semelhantes aos radares convencionais.

A figura 12 demonstra a correlação entre o sinal recebido e uma réplica do sinal enviado em que o resultado final será como se tivesse sido enviado um pulso curto, com a forma de sinc.

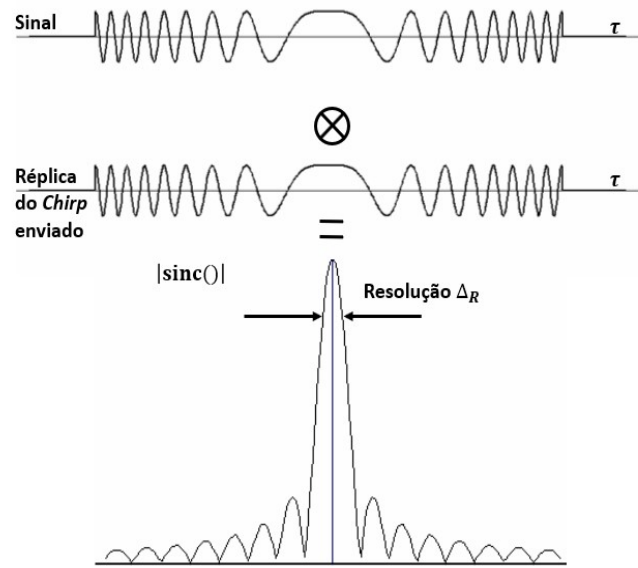


Figura 14. Resultado da correlação entre o sinal recebido e uma réplica do sinal enviado (um chirp) com cT o ganho de processamento.

A resolução passa a ser inversamente proporcional à duração do pulso,

$$\Delta_R = \frac{c}{2\beta T_p} \quad (5)$$

Ao contrário do que seria esperado num radar convencional, a resolução diminui, ou seja, melhora com o aumento da duração do pulso.

Um exemplo, em termos computacionais, da técnica de compressão de impulsos é ilustrado pela figura 15, onde se começa por simular um pulso modulado em frequência a ser transmitido, imagem a), para detetar os alvos espalhados em alcance, imagem b).

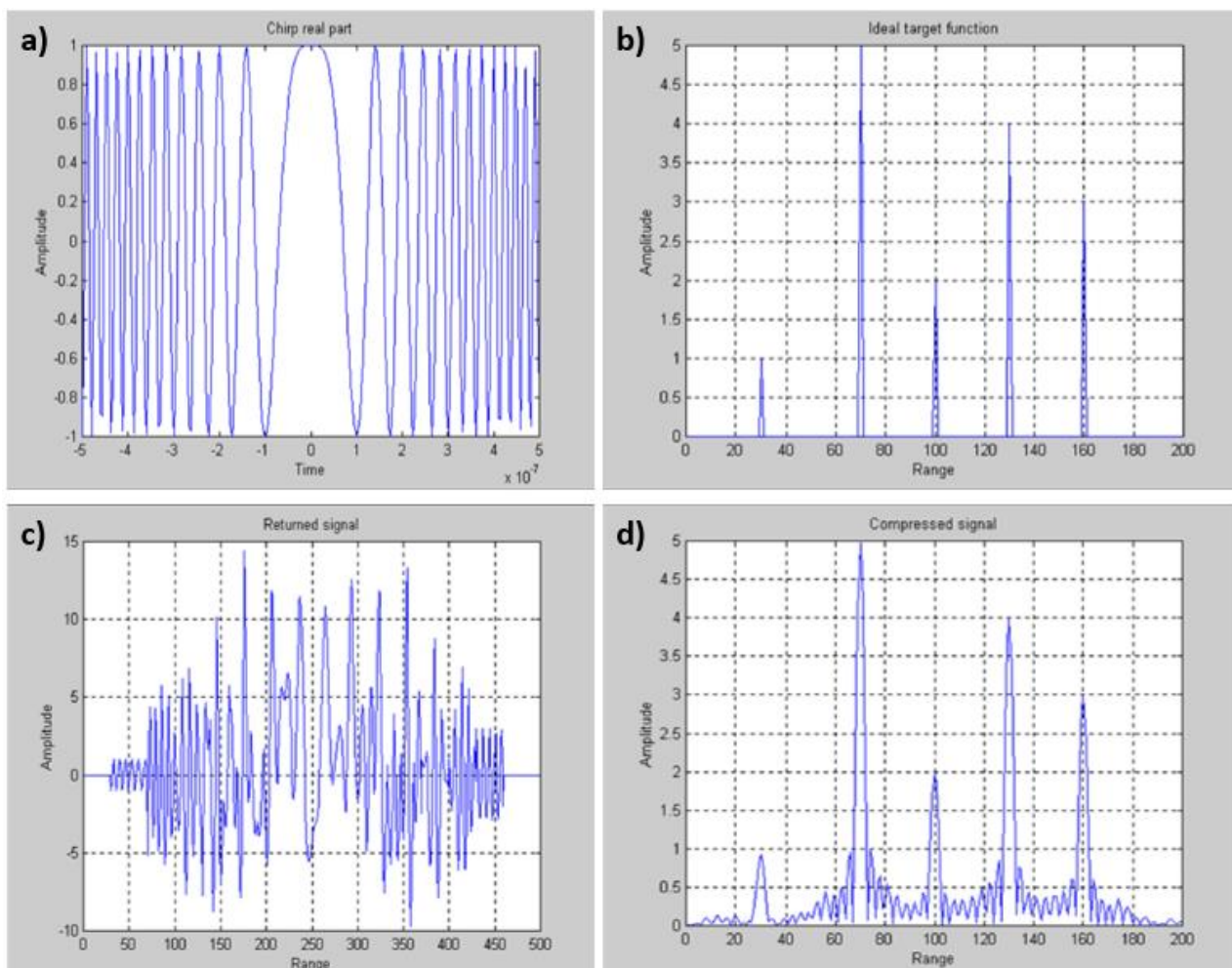


Figura 15. Exemplo da compressão de impulsos através da correlação [34]

Sempre que o sinal encontra um dos alvos retorna à antena que efetua a soma de todos os ecos, imagem c). A correlação entre o sinal recebido, imagem c), e a réplica do sinal enviado, imagem a) permite obter o sinal comprimido, imagem d). É perceptível na imagem d) que todos os alvos foram identificados, mas também é de realçar a presença de lóbulos laterais resultantes da correlação.

O programa desenvolvido no anexo 2, começa por elaborar o processamento em alcance, obtido pela correlação dos dados da Figura 13 com o conjugado da função de referência do sinal enviado.

O excerto do código correspondente à correlação é:

```
temp2 = conj(repmat(ffts_ref,1,size(data,2)));
```

O excerto do código correspondente à função de referência é:

$$\exp(1i*\pi*p.B/p.ts*(t_vect_ref - p.ts/2).^2)$$

Os cálculos são realizados frequentemente no domínio da frequência por isso é feita a Transformada de Fourier, que em termos computacionais, corresponde a FFT (*Fast Fourier Transform*), para facilidade e rapidez de cálculo. Após o processamento em alcance é necessário fazer a Transformada de Fourier Inversa, para mostrar a imagem da primeira compressão, Figura 16.

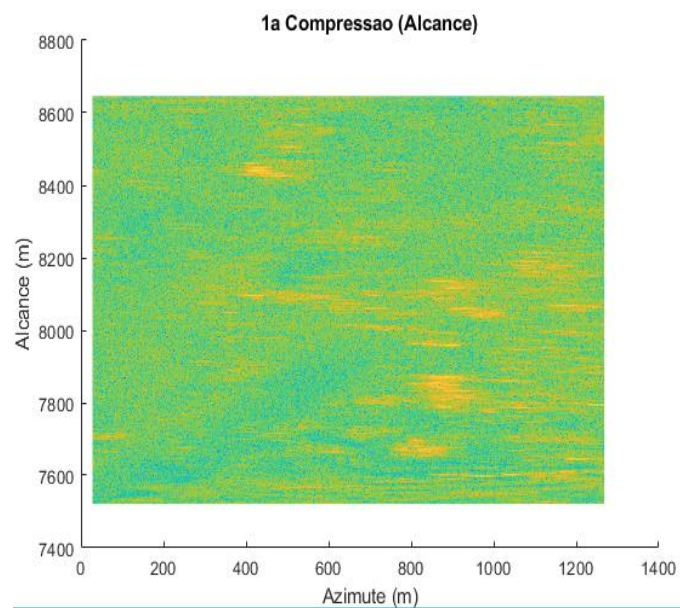


Figura 16 - Imagem resultante da 1ª Compressão, em alcance, obtidos pelo código no Anexo 2.

3.4.2. Processamento em Azimute

O processamento em azimuth vai ser influenciado pelo movimento da antena, à velocidade V , na direção de azimuth. Durante o tempo correspondente à abertura sintética (L) o radar recolhe informação, em azimuth e alcance, dos diferentes ecos, e armazena-os numa matriz 2D, como se pode verificar na Figura 17.

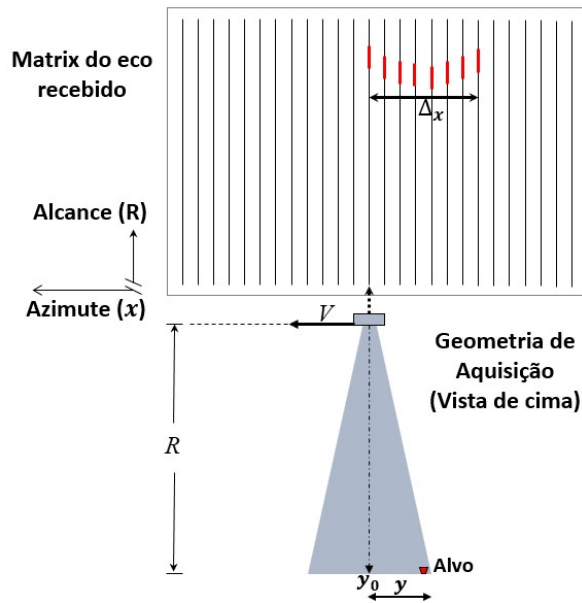


Figura 17. Recolha de informação armazenada numa matriz 2D.

À medida que a antena se movimenta, os ecos correspondem a diferentes distâncias a cada alvo, como se pode verificar na Figura 18. A variação da distância vai provocar uma curvatura ao serem armazenados na matriz 2D, como é exemplificado na Figura 17.

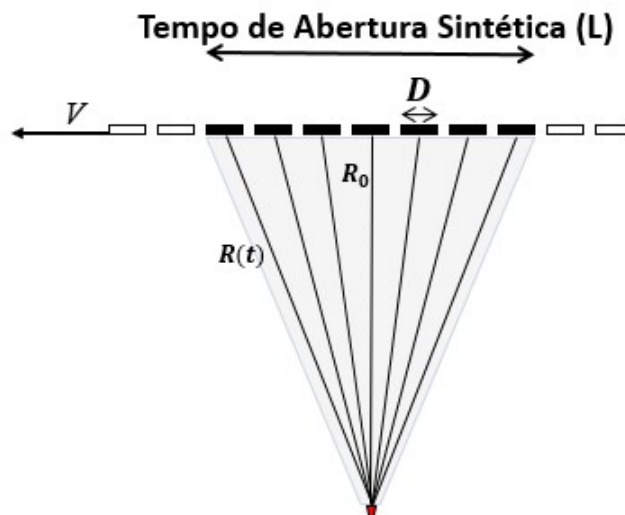


Figura 18. Alteração do alcance a um alvo dependente do movimento da antena (Tempo de Abertura Sintética)

A curvatura mencionada, ou seja, a dispersão dos dados na matriz, não permite fazer a correlação de toda a informação em cada coluna da matriz o que

resulta na desfocagem da imagem, pelo que se torna necessário compensar a dispersão através de uma multiplicação pela fase.

A fase é proporcional à distância do sinal que retorna, tornando-se assim passível de ser conhecida. Começamos por obter

$$R(t) = \sqrt{R_0^2 + (y - y_0)^2} \cong R_0 + \frac{(y - y_0)^2}{2R_0}, \quad (6)$$

a aproximação quadrática da distância, obtida pela expansão da série de Taylor¹⁶. Esta aproximação permite saber o tempo de ida e volta,

$$T_D = \frac{2R(t)}{c}. \quad (7)$$

Sabendo T_D e $c = f\lambda$ obtém-se a diferença de fase

$$\Delta\theta = 2\pi f T_D = \frac{4\pi R_0}{\lambda} + \frac{2\pi(y - y_0)^2}{\lambda R_0} \quad (8)$$

que permite chegar à expressão do sinal recebido

$$S(y) = a(y - y_0)e^{-j\Delta\theta} = a(y - y_0)e^{-j\frac{4\pi R_0}{\lambda}} e^{-j\frac{2\pi(y - y_0)^2}{\lambda R_0}}, \quad (9)$$

onde se encontra uma constante, e^{-2jkR_0} , e um termo com a forma de um chirp, $e^{-j\frac{2\pi(y - y_0)^2}{\lambda R_0}}$, e verifica-se que este chirp é obtido pela geometria e não pela modulação como se sucede no processamento em alcance.

A resolução em azimute para o radar com uma antena simulada sofre alterações (Cutrona, 1990, p.p21.1 e 21.2), obtendo-se

$$\Delta y = \frac{D}{2}, \quad (10)$$

de forma a que deixa de depender da distância para depender somente do tamanho da abertura física da antena, D .

A equação, apresentada na expressão (9), é limitativa, pois apresenta limitação nos ângulos com que deve incidir no solo. Apresentam-se como valores de referência, os ângulos de observação do alcance de 20° a 60° [34], intervalo de valores fora do qual vai provocar degradação da resolução.

¹⁶A redução dos termos em falta só é válida quando a distância do alvo relativamente à antena (que depende do movimento em azimute) é $R_0 > y - y_0$.

Em casos com θ_i muito elevado, a largura de faixa visível (*Swath Width*) vai ser muito extensa, o que provoca mais efeitos de sombra e consequentemente deformações na imagem e com θ_i muito reduzidos, a reflexão vai ter valores muito elevados o que diminui a discriminação da imagem.

Nesse sentido, é crucial para a focagem em azimuth, a medição da qualidade do processamento do sinal, ou seja, é necessário investigar a função de resposta do impulso (IRF – *Impulse Response Function*), normalmente feito com dados simulados, onde se vêem os lóbulos secundários no diagrama de radiação recebida por forma a procurar alvos de interesse.

Outro efeito que também se verifica nas imagens SAR é o ruído (*Speckle*). Os ecos são distribuídos aleatoriamente pelos diferentes elementos presentes nas células de resolução. A soma coerente das suas amplitudes e fases provoca fortes flutuações que seguem uma distribuição única e exponencial, resultante da compressão em azimuth. Dada esta distribuição, é possível mitigar este efeito com a técnica *Multi-look*¹⁷.

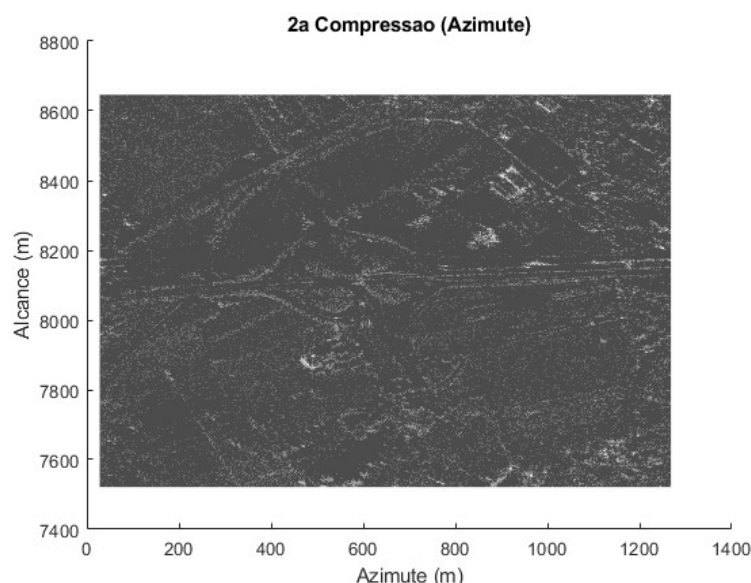


Figura 19. Resultado da compressão em alcance e azimuth, obtidos pelo código no Anexo 2.

¹⁷Média não coerente da intensidade, que apesar de provocar degradação da imagem, melhora a sua interpretabilidade.

O programa MATLAB, permite demonstrar a aplicação da compressão em azimute ao chegar à imagem final, Figura 19, que foi programa para aparecer nos tons de cizento por forma a melhorar a sua interpretabilidade.

No ato da entrega dos dados em bruto, pelo *Fraunhofer Institute*, foi referido que os mesmos correspondiam a uma imagem (rotunda) de um local nas imediações do instituto.

Na figura 20, pode-se então, observar uma imagem do local, extraída do *google maps* e que se apresenta, com a finalidade de comparação, sem deixar de referir-se, que ambas não são correspondentes em orientação e ângulo de captação.



Figura 20. Imagem ótica da rotunda que foi adquirida pelo processamento de dados SAR¹⁸

No código, os cálculos também são feitos no domínio da frequência e começam por calcular o sinal recebido dependente da diferença de fase provocada pela variação da distância ao alvo à medida que a antena se desloca, como se pode ver pelo excerto:

```
for l=1:length(p.vec_range)
    v = exp(-1i* pi*2*p.vplat^2/p.lambda/p.vec_range(l)*vect_T_ref.^2);
    v_corr(l,:) = fft(v,size(data,2));
end
```

¹⁸ Fonte: Google maps

De seguida, a compressão é obtida pela correlação dos dados com o conjugado da função do sinal recebido:

```
fftdata = fftdata .* conj(v_corr);
```

Para complementar a compressão em azimuth ainda é feita uma focagem utilizando a frequência de Doppler. Esta focagem é possível pelo conhecimento da trajetória e velocidade que a antena está a fazer.

```
f_dop_vec = 0 : size(data,2)-1 ./size(data,2)*p.PRF;  
phase_correction = exp(-1i*pi*f_dop_vec*Tsynth);  
temp = repmat(phase_correction, size(data,1),1);  
fftdata = fftdata.*temp;
```

Em suma, após realizadas ambas as compressões, em alcance e em azimuth, obtêm-se uma imagem final, de alta-resolução, a partir de dados em bruto, como se pode ver na Figura 21.

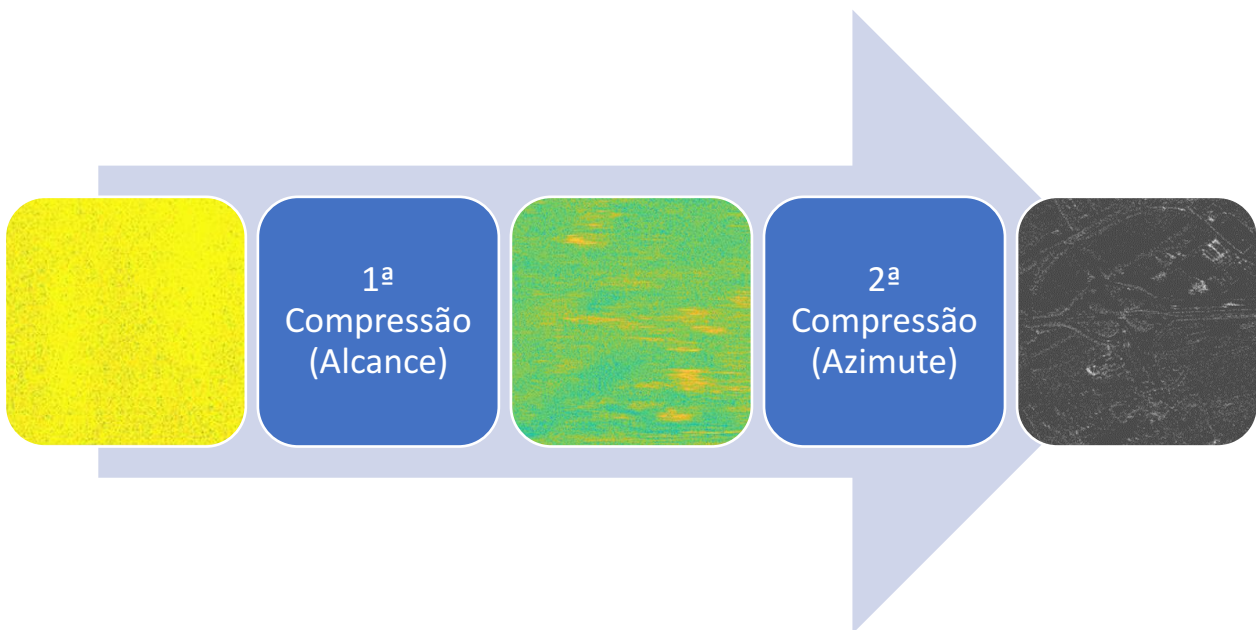


Figura 21 - Esquema do Processamento de Imagem em MATLAB

3.5. Algoritmo de reconstrução de frente de onda

Para substituir este processo por métodos mais rápidos, computacionalmente, utilizam-se algoritmos. Atualmente existem vários, desenvolvidos com as especificidades necessárias aos diferentes equipamentos e

missões. Alguns dos algoritmos populares de focagem [34, p. 10] são o de *range-doppler*, de *chirp-scaling*, de correlação no domínio do tempo e o de reconstrução da frente de onda.

Aborda-se, a título de exemplo, o algoritmo de reconstrução da frente de onda (*Wavefront Reconstruction Algorithm*).

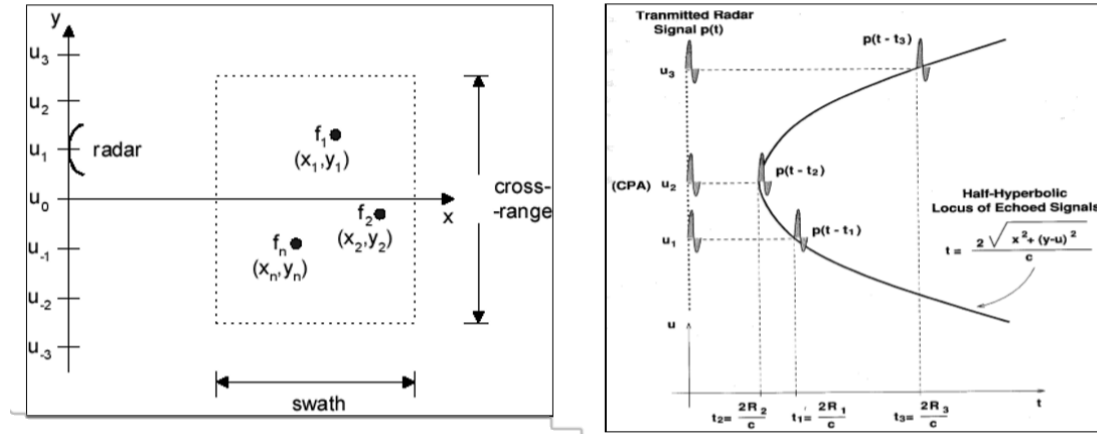


Figura 22. Algoritmo de Reconstrução da Frente de Onda

Na imagem da esquerda da figura 22, temos uma zona de interesse (*target zone*) com n alvos, onde o radar movimenta-se em azimuth, no eixo y . À medida que o radar percorre y , vai emitindo pulsos e os alvos criam ecos que retornam, são somados e armazenados, como demonstrado na imagem da direita da figura 22.

Inicialmente recebemos o sinal no domínio do tempo-lento u e do tempo rápido t ,

$$s(u, t) = \sum_{n=0}^{N-1} f_n p\left(t - \frac{2\sqrt{x_n^2 + (y_n - u)^2}}{c}\right), \quad (11)$$

com t é o tempo de ida e volta do sinal, x e y as coordenadas do alvo e f_n o fator de refletividade (RCS – Radar Cross Section).

Através da Transformada de Fourier (Marques, 2005), o algoritmo passa para o domínio da frequência do tempo-lento k_u e tempo-rápido w ,

$$S(k_u, w) = P(w) \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{-j\sqrt{4k^2 - k_u^2} x_n - jk_u y_n}, \quad (12)$$

onde se realça o termo da exponencial que representa o atraso obtido devido à distância. Esta variação da distância entre o radar e o alvo origina uma

dispersão de dados na matriz, que provoca desfocagem, no tempo de abertura sintética, denominada *Range Cell Migration*, dada por

$$RCM = R(t) - R_0 = \sqrt{R_0^2 + (Vt)^2} - R_0 = \frac{(Vt)^2}{2R_0} \quad (13)$$

por forma a corrigir a mancha com forma curvilínea obtida no gráfico é necessário determinar a função dos alvos

$$f(x, y) = \sum_{n=0}^{N-1} f_n \delta(x - x_n, y - y_n) \quad (14)$$

Que traduz a zona de interesse do cenário, representada na imagem da direita da figura 22, a título de exemplo, que permite saber o que contem cada alvo. Esta correção é feita através de uma estimativa da curvatura obtida na matriz dada pela fase, uma vez que está dependente da distância.

Nesse sentido, à expressão (12) efetua-se uma interpolação de Stolt [34] através da mudança de variáveis, $k_x \equiv \sqrt{4k^2 - k_u^2}$ e $k_y \equiv k_u$, obtendo-se assim

$$S(k_u, w) = P(w) \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{-jk_x x_n - jk_y y_n} . \quad (15)$$

Antes da passagem ao passo seguinte é necessário fazer uma correlação no domínio da frequência (comprimir em *range*), $P(w)P(w)^*$. Através de um filtro adaptado consegue-se estimar a função alvo

$$\hat{F}(k_x, k_y) = P(w)^* S(k_u, w) = |P(w)|^2 \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{-jk_x x_n - jk_y y_n} . \quad (16)$$

Para finalizar, a obtenção da imagem faz-se com a Transformada Inversa da expressão (16) obtendo-se assim a expressão

$$\hat{f}(x, y) = \mathcal{F}_{(k_x, k_y)}^{-1} \hat{F}(k_x, k_y) . \quad (17)$$

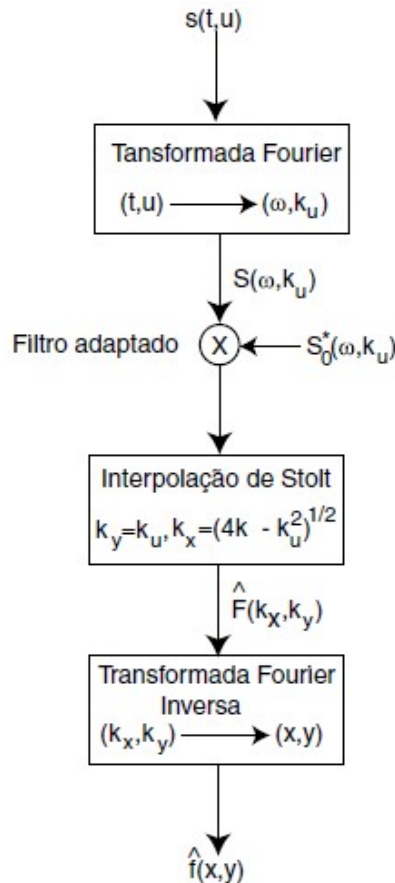


Figura 23. Diagrama de Blocos do algoritmo de reconstrução de frente de onda ([33])

3.6. Fatores que afetam a imagem

Durante a apresentação do processamento de imagem foram apresentados fatores que afetam a formação da mesma, quer em qualidade quer na sua interpretação.

Além da RCM, expressão (13), e do *speckle*, já abordados anteriormente, outro fator são os alvos móveis porque quando se dá a correlação com objetos em movimento, o alvo surge deslocado na imagem.

Outros fatores, que afetam a imagem radar são:

- Deslocamento em elevação (figura 24) – a deslocação relativamente ao ponto nadir. O deslocamento aumenta com a diminuição do ângulo de incidência. A forma de corrigir esse efeito é através de conhecimento do terreno independente do processo. Este efeito acontece sobretudo com alvos de grande altura como montanhas, prédios, entre outros.

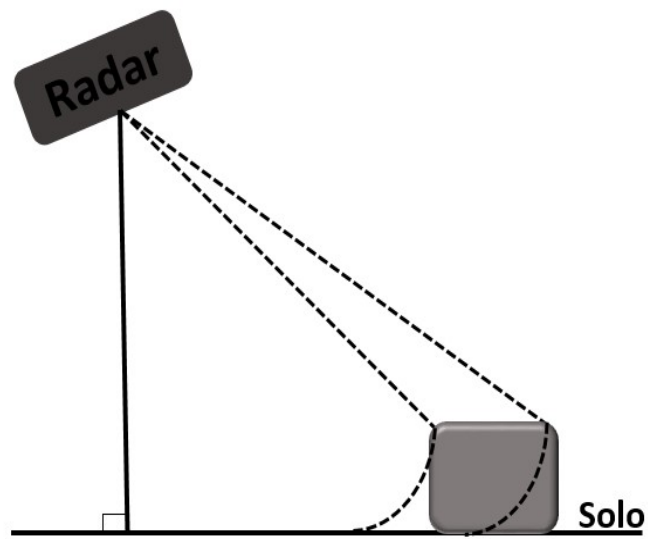


Figura 24. Deslocamento em elevação

- *Foreshortening* (figura 25) – Efeito que ocorre quanto mais íngreme uma superfície é ou maior o ângulo de incidência do radar, que provoca um deslocamento do topo do alvo relativamente à sua base. Sinal do topo chega antes do da base, logo o alvo é visto deitado.

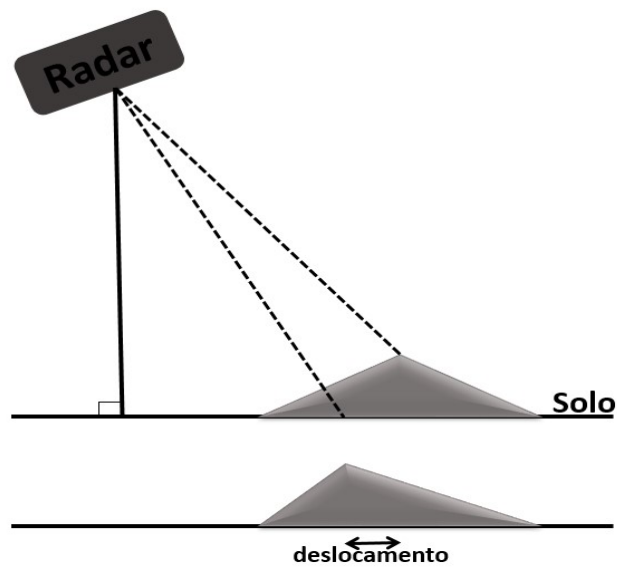


Figura 25. Foreshortening

- *Layover* (figura 26) – À semelhança do *foreshortening* também o *layover* é um deslocamento do topo relativamente à base, mas provocado pela altura mais pequena dos alvos e ângulos menores de incidência do radar. Oposto do *foreshortening*, deitado no sentido contrário.

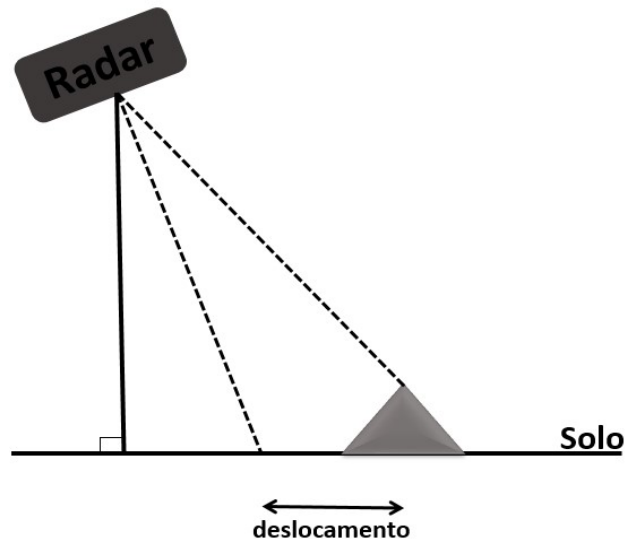


Figura 26 - Layover

- Efeito de sombra (*Radar shadow*) (figura 27) – Quando a incidência do sinal ao embater num alvo provoca reflexão e a parte por trás do alvo deixa de ser visível ao radar pelo que vai criar uma zona sem informação porque não teve sinal recebido, logo, na imagem aparece como uma sombra.

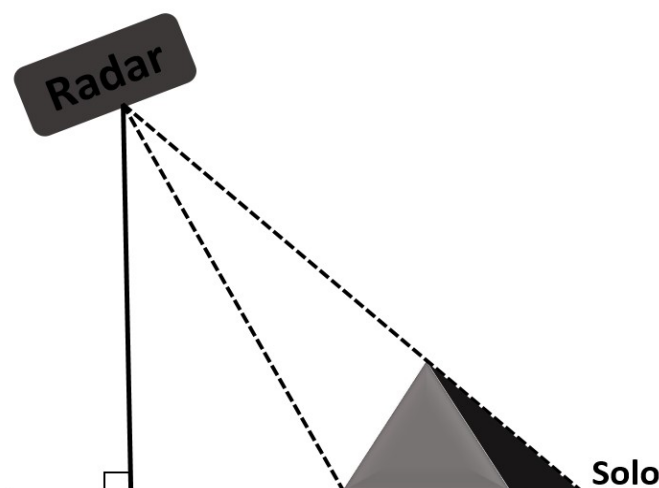


Figura 27. Efeito de Sombra (Radar Shadow)

3.7. Imagem ótica vs. Imagem SAR

No subcapítulo 3.4 mostrou-se a criação de uma imagem através de dados em bruto. Contudo, a resolução da imagem não é a característica de imagens SAR, é somente um exemplo obtido por processamento simples, porque a resolução e discriminação de imagem está depende de diversos fatores.

Além do processamento que é efetuado, também o sistema utilizado de recolha de dados, como satélites, meios aéreos, ou até experimentações particulares, afetam diretamente a qualidade da imagem final. Neste caso, os dados foram obtidos pelo radar do instituto FRH e o programa aqui desenvolvido, teve apenas um caráter demonstrativo como a respetiva técnica de processamento pode chegar a uma imagem.

Contudo, para utilizações práticas e reais, há à disposição produtos desenvolvidos de forma profissional, cujas imagens finais exibem uma grande resolução comparáveis a imagens óticas. A título de exemplo apresentamos duas imagens do mesmo local, a figura 28 e a figura 29, adquiridas por satélite e processadas por agências especializadas, sendo que a da figura 28 é uma imagem ótica e a da figura 29 é uma imagem obtida por tecnologia SAR.

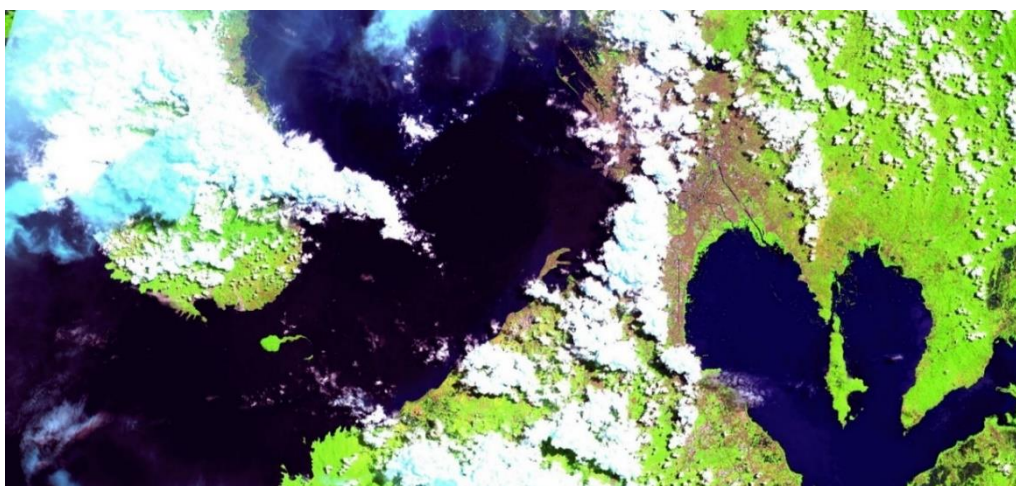


Figura 28. Imagem Sentinel-2; 05 maio 2017¹⁹

¹⁹ Fonte: Imagem adquirida pela ESA e disponibilizada no curso da EO College

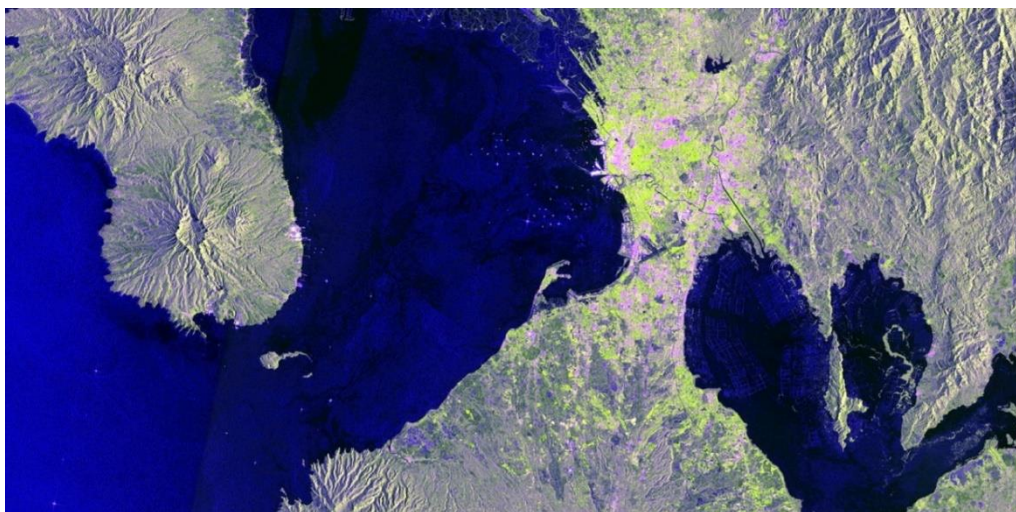


Figura 29. Imagem Sentinel-1; 09 novembro 2016²⁰

As imagens são de Manila, na Filipinas, obtidas pelos satélites Sentinel-1 e Sentinel-2, que fazem parte de uma família de satélites administrada conjuntamente pela comunidade europeia e a ESA, para dar resposta a requisitos do programa Copernicus para Observação Terrestre²¹ ([35]).

O Sentinel-1 faz uso do sensor C-SAR, para recolha de informação para monitorização terrestre, quer em meio terrestre quer em marinho, permanentemente e independente das condições meteorológicas.

O tempo compreendido entre a recolha de dados e a posterior difusão das imagens deste satélite é reduzido (menos de 1 hora) e realça-se que são disponibilizadas sem custos associados. Assim, tem-se revelado de grande interesse para diversos fins, como é o caso da gestão de emergências.

O processo começa por simular o envio do sinal da 1ª imagem, para detetar os alvos da 2ª imagem. Sempre que o sinal encontra um dos alvos retorna e soma todos os ecos retornados, obtendo assim a 3ª imagem. A 4ª e última imagem é o resultado da compressão da soma dos sinais retornados, através da correlação do sinal retornado e a réplica do sinal enviado.

²⁰ Fonte: Imagem adquirida pela ESA e disponibilizada no curso da EO College

²¹ Vídeo sobre Sentinel-1 (European Space Agency, 2014) é disponibilizado em https://www.youtube.com/watch?time_continue=86&v=FJWzLxdSMYA

Na última imagem da figura 13, obtemos os nossos alvos através de processamento, mas comparando com a 2ª imagem, com a simulação dos alvos, é perceptível que todos os alvos foram identificados, contudo com a presença de lóbulos laterais, resultantes dos lóbulos laterais da correlação.

Capítulo 4. Metodologia

4.1 Introdução

Neste capítulo antes de serem abordados os procedimentos do estudo, considera-se relevante abordar a sua abrangência, projetos e potenciais utilizações SAR no âmbito militar, a fim de entender o nível de conhecimento existente e a possibilidade do seu uso no seio da Marinha Portuguesa, tendo em consideração que os seus equipamentos ainda não possuem esta tecnologia.

O nosso objetivo principal é o interesse de utilização da tecnologia SAR para a Marinha Portuguesa, determinando a nossa pergunta de partida:

Qual o interesse e benefício da possível utilização da tecnologia SAR na Marinha Portuguesa?

A pergunta de partida irá ser a base a partir da qual se desenvolverá a estratégia. Pois, "A estratégia define a maneira mais eficaz de implementar as capacidades de uma empresa para alcançar o conjunto de metas e objetivos"²² [36].

Para se definir a estratégia, começa-se por extrair da pergunta de partida os objetivos específicos:

- Tomar conhecimento do ambiente e tipos de missões realizadas pela Marinha;
- Analisar o conhecimento da Marinha Portuguesa sobre o SAR (se possuem a tecnologia);
- Apurar as possíveis mais valias do SAR atribuída pela Marinha Portuguesa;
- Perceber de que forma poderá ser utilizada a tecnologia SAR pela Marinha Portuguesa;

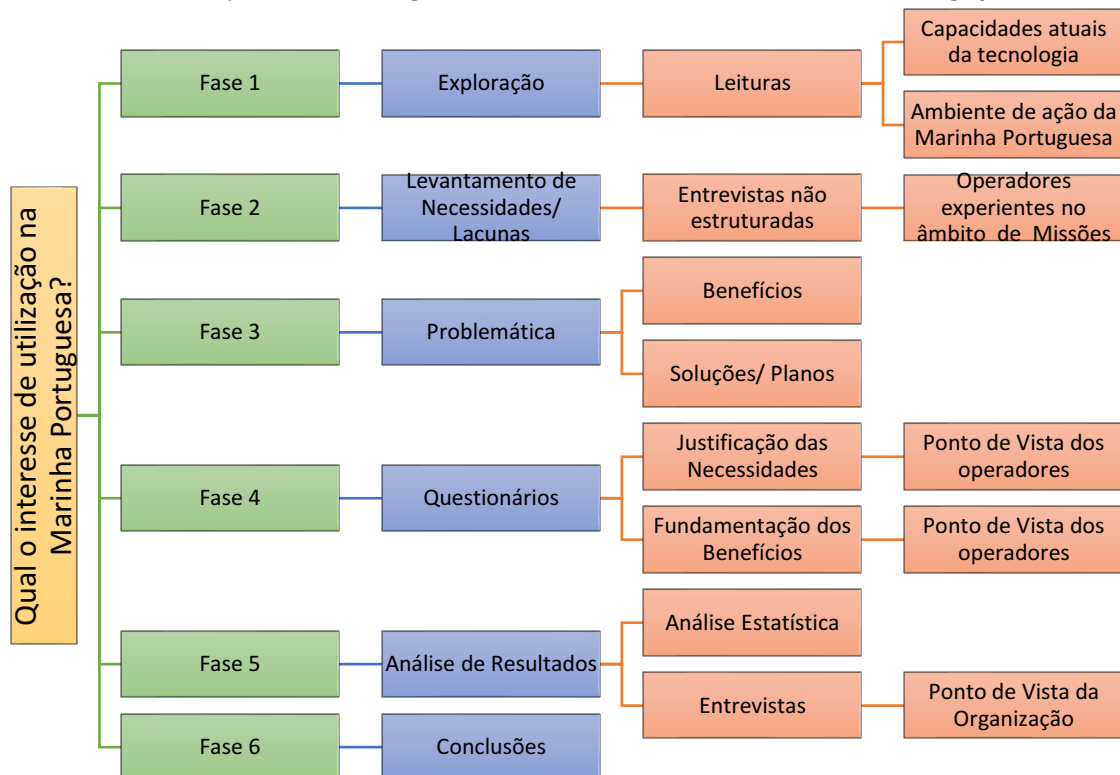
²² Tradução a partir do inglês

- Analisar a percepção sobre a utilidade dos radares SAR para a Marinha, face às missões que desenvolve no âmbito das suas competências;

4.2 Metodologia

Para dar-se resposta à pergunta de partida, faz-se um estudo de caso que é um método de pesquisa estruturado, como se pode verificar no Esquema 1, utilizado em diferentes situações para contribuir com o conhecimento dos fenómenos individuais ou grupais [37].

Esquema 1. Fluxograma do desenvolvimento da linha de investigação



A vantagem do estudo de caso é a sua aplicabilidade a situações humanas, a contextos contemporâneos de vida real [38]). Segundo Dooley (2002) o método de investigação do estudo de caso é muitas vezes usado para desenvolver ou criar uma teoria, para contestar ou desafiar teoria, para explicar uma situação,

para estabelecer uma base de aplicação de soluções para situações, para explorar, ou para descrever um objeto ou fenómeno [38, pp. 343-344].

Yacuzzi (2005), em relação aos estudos de caso refere que “(...) o seu valor reside em que não apenas se estuda um fenómeno, mas também o seu contexto. Isto implica a presença de tantas variáveis que o número de casos necessários para as tratar estatisticamente seria impossível de estudar” [39, p. 9]

O investigador no presente estudo será participativo, uma vez que irá demonstrar as capacidades da tecnologia SAR, tentando posteriormente perceber se essa população percebe a SAR como passível de solucionar lacunas que sejam observadas noutras tecnologias. O questionário pretende também apresentar diversos produtos SAR obtidos por satélites para dar a conhecer a tecnologia e aplicações que serve de método de divulgação;

4.2.1 Técnicas ou instrumentos de recolha de dados

Na recolha de informação, utilizaram-se as seguintes técnicas/instrumentos de recolha:

Análise documental - verificação de documentação, com o objetivo de obter informação detalhada sobre objetivos e preparativos de missão, para compreensão do tema e criação do contexto de ação [36].

Notas de Campo - levantamento das missões que a Marinha realiza.

Inquérito por questionário - a fim de apurar-se as necessidades e benefícios, com base em inquéritos efetuados a um grupo representativo de uma população de operadores profissionais, com perguntas sobre a situação profissional, opiniões e expectativas, ao nível de conhecimentos e consciencialização de um problema [40].

Entrevistas - segundo Endsley *et. al.*,

“inicialmente é importante entrevistar operadores experientes para identificar objetivos, através de entrevistas não estruturadas, concentradas nos objetivos e requisitos de informação. Neste sentido, o entrevistador, deve ter noção de todo o material disponível pertencente ao domínio para

uma melhor compreensão geral da natureza do trabalho do operador”²³ [40, p. 64].

A fim de obter a opinião relativas a alguns resultados dos inquéritos, desenvolveu-se posteriormente uma entrevista semiestruturada (Anexo 4) dirigidas a oficiais com responsabilidades ao nível estratégico da Marinha.

4.3 Ambiente de ação da Marinha Portuguesa

A Marinha Portuguesa efetua diversas missões tanto ao nível nacional como internacional, sendo necessário a realização com assiduidade de treinos para elevados graus de prontidão. São exemplos o *Real Thaw*, *Instrex*, *Swordfish*, *Obangame-Saharan Express*, *Lusitano*, *Ita Minex*, *Contex Phibex*, *Mar Aberto*, *SAR (Search and Rescue)*, entre outros.

Dentre as diferentes missões em que Marinha Portuguesa se envolve, e após uma ação de pesquisa preliminar na unidade NRP Viana do Castelo, referenciamos a operação FRONTEX 17. Esta operação é uma ação combinada na fronteira externa europeia no Mediterrâneo Central, para controlo dos fluxos migratórios no espaço *Schengen* e combate ao crime transfronteiriço. Tem como objetivos específicos o aumento da segurança das fronteiras europeias; agilizar a troca de informações entre entidades; tornar mais eficaz a identificação de possíveis riscos e ameaças; melhorar o processo de estabelecimento de estruturas permanentes de apoio à operação e incrementar o estabelecimento de boas práticas entre os Estados-Membros que nela participam.

Com recurso a análise do “*Final Report from the Member State*”²⁴ e do relatório de missão (*MISREP*) da missão efetuada tomou-se conhecimento de alguns dos pontos referidos, como é o caso da identificação de possíveis riscos e ameaças que demonstra a necessidade da criação de panorama.

Uma das recomendações dos relatórios, relativamente à criação do panorama da missão, indicava a necessidade de cooperação e a rápida partilha de informação sobre a área através da aeronaval, por forma a permitir um

²³ Tradução a partir do inglês.

²⁴ Relatório final do estado membro.

posicionamento mais célere e oportuno do navio. Salienta-se desta forma a importância da obtenção de informação para a criação do panorama no seio das missões e para o sucesso destas.

Ainda, no âmbito das missões da Marinha Portuguesa, realçamos uma outra competência, que resulta do plasmado no Artº 52º da Lei 27/2016 e sucessivas atualizações, a Lei de bases da Proteção Civil, em que “As Forças Armadas colaboram, no âmbito das suas missões específicas em funções de proteção civil”. O apoio humanitário a populações sinistradas, para o qual já tem sido chamada a intervir engloba-se nessas funções.

A Proteção civil, entendida no Artº 1º, nº 1 do mesmo diploma é:

“a atividade desenvolvida pelo Estado, Regiões Autónomas e autárquicas locais, pelos cidadãos e por todas as entidades públicas e privadas com a finalidade de prevenir riscos coletivos inerentes a situações de acidente grave ou catástrofe, de atenuar os seus efeitos e proteger e socorrer as pessoas e bens em perigo quando aquelas situações ocorram.”

Neste âmbito, as Forças Armadas, têm “deveres especiais” na qualidade de pessoa coletiva de direito público (Artº 6º, nº 2), ainda mais comprometidas enquanto consagradas como Agente de Proteção Civil conforme o Artº 46º, nº1, al.c): “São Agentes de Proteção Civil, de acordo com as suas atribuições próprias: [...] a) As Forças Armadas; [...] d) A autoridade Marítima...”, e não apenas no sentido orgânico, mas também funcional, tal com é exemplo recente o envolvimento do efetivo de unidades da Marinha portuguesa nos incêndios de 2017, desta feita, bastante afastados, daquela que é a sua vocação marítima tradicional.

Os navios são, em muitas situações, o único meio capaz de ir a locais de sinistros nas zonas costeiras, mesmo em condições meteorológicas muitas extremas, ventos ou até erupções vulcânicas. Contudo, é relativamente reduzida a participação nestes cenários, dada a excecionalidade deste tipo de eventos. Por isso, existem treinos aos navios, como o exercício DISTEX da responsabilidade do Departamento de Limitação de Avarias da ETNA, por forma a aumentar os

níveis de prontidão, caso a Marinha seja chamada a desempenhar estas funções na qualidade de agente de proteção Civil.

Estes exercícios permitem consolidar os conhecimento e capacidade de ação dos oficiais para além daquelas plasmadas nos documentos protocolo, que fornecem informações sobre o papel a desempenhar caso se desencadeiem cenários idênticos, potenciando um leque de saberes para além das respetivas normas de procedimento, com base na experiência adquirida e acumulada para o exercício da chefia, neste ou noutros contextos.

Segundo a informação disponibilizada pelo curso da ETNA, consideram-se os objetivos principais: estabelecimento de postos de comando em terra, reconhecimentos da área, estabelecimento de célula logística no local, efetuar palestras às equipas de intervenção, para então restabelecer vias de acesso ao local e cuidar dos desalojados e acidentados.

Quando as equipas são mandadas para o terreno, tem de ser definidos os métodos de reconhecimento do terreno, para poder percorrer o maior espaço no menor tempo possível, em segurança, por forma a identificar zonas de perigo, zonas cortadas, as áreas afetadas e, desse modo, gerir as prioridades para ação.

Estes tópicos, levam ao levantamento de questões, sobre a importância que os oficiais embarcados dão à criação de panorama, em ambiente diverso às suas atividades planeadas e rotineiras.

Para cumprir as suas missões, e responder às suas necessidades e responsabilidades, tanto a nível interno, como no cumprimento de compromissos internacionais e de cooperação, a Marinha Portuguesa dispõe de várias unidades navais, tais como fragatas, corvetas, navios hidrográficos, patrulhas oceânicas, submarinos, veleiros e outros.

Apesar dos variados recursos de que dispõe, desde equipas em terra, como o COMAR, sensores das unidades navais ou até os meios orgânicos, surge o levantamento da questão, sobre a oportunidade de utilização da tecnologia SAR como recurso no cumprimento de algumas das missões.

4.4 Formulação de hipóteses

Tal como apresentado no subcapítulo anterior, a investigação prévia levada a cabo devido à pergunta de partida da investigação, sobre a pertinência do uso da tecnologia SAR na Marinha Portuguesa, levou ao levantamento das seguintes questões:

1. A Marinha Portuguesa tem a tecnologia SAR?
2. A Marinha Portuguesa necessita de equipamento adicional de deteção remota?
3. Qual o conhecimento dos oficiais da Marinha Portuguesa sobre SAR? Alguma vez tiveram contacto com o SAR?
4. Como poderá ser a sua aplicabilidade na Marinha Portuguesa?
5. As missões que desenvolve a Marinha Portuguesa, poderão beneficiar da tecnologia SAR?

Tal, e em respeito à metodologia do trabalho científico, efetuou-se uma formulação de hipóteses, tentando responder às questões apresentadas, para apuramento de que o recurso a tal tecnologia, seria uma mais-valia tecnológica, nas variadas funcionalidades operacionais, nomeadamente:

1. A Marinha Portuguesa desenvolveu algum tipo de estudo nesta área tecnológica.
 - b) Em caso negativo, apurar se a generalidade dos oficiais conhece a tecnologia.
2. Se a Marinha não dispõe de radares de tecnologia SAR.
 - 2.1. A Marinha pretende implementar este tipo de tecnologia.
 - 2.2. A Marinha pretende começar a fazer uso de informação SAR disponibilizada exteriormente.
 - a) Em caso afirmativo no ponto anterior, isso resulta porque os equipamentos atuais não são suficientes.

- b) Os atuais sistemas limitam o acesso à informação da mesma forma que o SAR
 - c) Porque não existem equipamentos para o efeito de localização.
 - d) O tipo de missões em que se carece da tecnologia.
3. Em caso de intenção da sua aquisição, a sua aplicação deveria ser:
- a) Aplicada em Helicópteros.
 - b) Aplicada em UAVs.
 - c) Aplicada com equipas em terra a trabalhar informação de satélite e disponibilizar para as unidades operacionais.
 - d) Estações em terra.
4. Os radares SAR têm ou não têm utilidade nas missões da Marinha.

4.4.1 Inquéritos por questionários

O inquérito por questionário foi desenvolvido a fim de obtermos respostas à nossa questão de partida. Para tal, foi aplicado a uma amostra de 50 oficiais da Marinha, atualmente a exercer funções a bordo de uma unidade naval. Visando desta forma analisar qual a perceção dos oficiais sobre a aplicação do SAR nas missões em que participaram, e conseqüentemente, qual a sua opinião sobre as vantagens ou melhorias que o SAR poderia ter acrescentado às mesmas.

O inquérito, anexo 3, divide-se segundo os quatro temas que se apresentam:

1. Caracterização da amostra quanto
 - a. Ao género
 - b. A formação académica
 - c. Número de navios embarcados
 - d. Missões realizadas
 - e. Participaram em missões estrangeiras? (Acesso SAR?)
 - f. Formações posteriores à formação base? (Abordam SAR?)

A premissa e. e f. permitem saber se existe conhecimento da tecnologia na população inquirida;

2. Importância dos Equipamentos de Detecção Remota no exercício das funções;

Este grupo pretende perceber, se o Radar SAR, dadas as suas especificidades é viável como Equipamentos de Detecção Remota, por comparação aos já utilizados pela Marinha Portuguesa.

a. Equipamentos de Detecção Remota mais úteis;

Será o Radar o mais importante, e, outros equipamentos como o AIS ou o ECDIS, tornam-se provável pela quantidade de informação que todos fornecem ao utilizador? Qual a importância deste tipo de equipamentos?

b. Identificar os fatores que mais afetam os Equipamentos de Detecção Remota;

Os fatores que podem ser menos limitativos pela utilização do SAR, como as condições noturnas, meteorológicas, oceanográficas, *jamming*, principalmente comparando com Radares Convencionais, provam a sua utilidade;

c. Identificar as capacidades mais desejadas nos Equipamentos de Detecção Remota;

Qualidade de imagem, discriminação e resolução são fatores relevantes dos produtos SAR pelo que prova a sua utilidade.

3. Identificar a importância dos Equipamentos de Detecção Remota nas missões;

No âmbito das missões, considera-se que a tecnologia SAR pode ter um papel importante na criação de panorama dadas as suas características e produtos.

a. Qualidades mais importantes para formação de panorama da missão

Correspondem aos produtos SAR como discriminação, quantidade de informação, previsões futuras (DInSAR em situações de crise disponibilizado por satélite)?

- b. Método de maior sucesso para a missão (Cobrir grandes áreas em menor tempo ou localizar áreas de interesse, através de comunicados e sensores);

Se os inquiridos consideram a 2ª opção então é subjetivo a importância da obtenção de panorama;

- c. Identificar a necessidade de outros Equipamentos de Detecção Remota;

No caso específico de apoio a populações sinistradas:

- d. Necessidades iniciais mais importantes da equipa de comando;

Mais uma vez, quer saber-se se os inquiridos consideram a criação de panorama;

- e. Quais os métodos úteis para obter o panorama local;

Escolha de imagens satélite disponibilizadas ou emprego de meios aéreos tal como considerado, neste trabalho, como os mais viáveis atualmente;

- 4. Qual a melhor forma de adotar a tecnologia SAR na Marinha Portuguesa;

Este tópico por forma a ser respondido, foi apresentado, durante o questionário diversos produtos SAR obtidos por satélites para dar a conhecer a tecnologia e aplicações (serviu também como método de divulgação);

- a. Utilização desta tecnologia de modo autónomo ou complementar;
- b. Melhor método de aplicação da tecnologia para apoio a missões (meios aéreos como helicópteros ou UAV ou equipa em terra para recolha, tratamento e divulgação de imagens satélite)

4.4.2 Entrevistas

Desenvolveu-se posteriormente uma entrevista estruturada dirigida a oficiais com responsabilidades ao nível estratégico da Marinha e a exercer diferentes funções, a fim de coadjuvar no processo de investigação como complemento ao inquérito por questionário. Foram entrevistados cinco oficiais das seguintes unidades:

- Centro Integrado de treino e avaliação naval (CITAN);
- Unidade Naval (UN), no Comando;
- Departamento de imitação de avarias (DLA);
- Esquadilha de Helicópteros (EH);
- Célula de experimentação de veículos não tripulados (CEOV);

O inquérito divide-se em duas partes por forma a perceber o conhecimento da tecnologia na Marinha e para comentar alguns dos resultados obtidos:

1. Conhecimento na Marinha;
 - a. Utilização da tecnologia SAR?
 - b. Estudos sobre a tecnologia SAR?
2. Comentários sobre resultado de inquéritos;
 - a. Importância da informação para criação de panorama;
 - b. Importância da criação de panorama em cenários de crise;
 - c. Melhor método de implementação da tecnologia;

Pretende-se desenvolver o tema, expondo as opiniões dos oficiais em diferentes posições estratégicas da Marinha, para obtermos uma opinião relativamente às dificuldades apresentadas no âmbito das missões em que a Marinha participa. Perceber, por um lado, se há conhecimento das necessidades e interesse de aperfeiçoar os métodos de deteção remota e por outro lado, perceber qual a opinião quanto à possibilidade da aplicabilidade da tecnologia SAR.

4.5 Resultados estatísticos

A análise estatística, detalhada no anexo 5, envolveu medidas de estatística descritiva (frequências absolutas e relativas, médias e respetivos desvios-padrão) e foi efetuada com o SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) versão 24.0 para Windows.

4.5.1 Dados Demográficos

Na tabela 2, encontra-se representados os dados demográficos da nossa amostra (n=50). Segundo a mesma verifica-se que 88% (n= 44) são do género masculino e 12% (n=6) feminino. Com maior expressividade estatística verifica-se que 44% dos inquiridos apresentava idades compreendidas entre os 25-30 anos, seguidos de 32% entre 30-35 anos de idade.

Tabela 2. Caracterização da amostra (n=50)

		n (=50)	%
Género	Masculino	44	88,0
	Feminino	6	12,0
	Total	50	100,0
Idade	20-25	11	22,0
	25-30	22	44,0
	30-35	16	32,0
	35-40	1	2,0
	Total	50	100,0
Classe	AEL	3	6,0
	ART	4	8,0
	ASW	2	4,0
	COM	5	10,0
	M	22	44,0
	MEC	7	14,0
	NA	3	6,0
	NAV	4	8,0
	Total	50	100,0

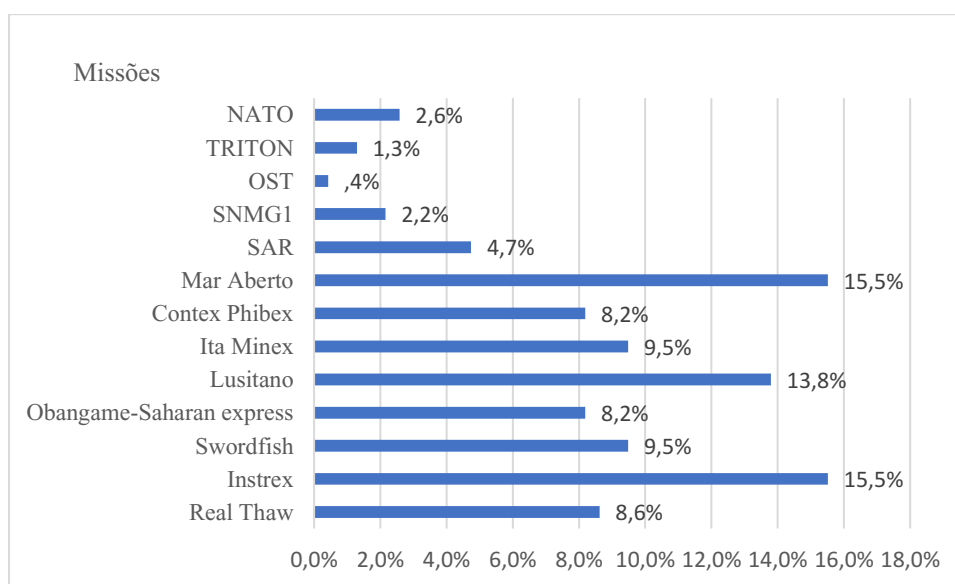
Sabe-se que os inquiridos são formados na Escola Naval e podem pertencer a quatro classes diferentes – Marinha, Administração Naval, Engenharia Naval Ramo de Armas e Eletrónica e Engenharia Naval Ramo de Mecânica. Na classe

de Marinha, após conclusão do curso, existem possibilidades de especializações diferentes, tais como Artilharia, Armas Submarinas, Comunicações, Navegação e outras.

Nesta situação, as classes/ Especializações mais frequentes eram Marinha sem especialização (M) (44%), Mecânica (MEC) (14%) e Comunicações (COM) (10%) (tabela 3). De realçar que na tabela são 74% da classe Marinha, se se considerarem todos os indivíduos com e sem especialização, formando entre estes um conjunto em que 40.5% tem especialização e 59.5% não é especializado (tabela 2).

Os oficiais demonstraram estar embarcados em diversas Unidades Navais dado regime de rotação e desempenharem diferentes funções, entre OQP e OAT (classe de marinha nas fragatas). A rotação que os oficiais efetuam entre as diferentes classes de navios, permite também aferir que a população entrevistada pôde efetuar um largo leque de missões (ver tabela 4 anexo).

Gráfico 1. Missões ou exercícios efetuados pelos inquiridos (n=50)



No gráfico 1, encontra-se representado as missões ou exercício em que tiveram a oportunidade de participar, destaca-se a INSTREX e MAR ABERTO (15.5%) e SAHARAN EXPRESS LUSITANO (13.,8%).

Dos 50 inquiridos, cerca de 16% já tinham participado em missões com marinhas estrangeiras e ainda, os oficiais da Marinha, durante o seu percurso

profissional, mostraram frequentar diversas ações de formação, especialmente dentro da instituição, contudo, nenhum dos modos apresentou contacto com a tecnologia SAR.

4.5.2 Resultados

1. A Marinha tem (ou utilizou em alguma ocasião) tecnologia SAR

Através das entrevistas, conseguiu-se investigar o tópico abordado pelo entrevistado da EH, sobre o programa Copernicus, e chegámos à conclusão que a Marinha utiliza produtos SAR. Os resultados dos inquéritos são corroborados pelos entrevistados que referem:

“Eu desconheço que faça uso da tecnologia SAR.[...] eu nunca lidei com esta tecnologia. Se a Marinha o faz, obviamente que esta informação não é divulgada. [...] desconheço totalmente se é usada ou não (sic. CITAN)”

“[...] na experiência operacional que eu tive nunca vi estes sistemas serem empregues operacionalmente pela MP, que eu tenha ideia e conhecimento, não (sic. Comando Unidade Naval)”

Após as entrevistas, surgiu a necessidade de obter informação do COMAR (Comando de Operações Marítimas) que tem como objetivo servir a nível operacional. COMAR é o centro de operações que tem como objetivo recolher, processar e disseminar informação necessária sobre o espaço de envolvimento marítimo por forma a apoiar a condução de operações, exercícios e ações no mar, através de funcionalidades de apoio à decisão.

Após o exposto pelo entrevistado da EH, sobre o Programa Copernicus, apurou-se com o COMAR que a Marinha tem acesso a imagens SAR de satélite e faz uso, inclusive, de serviços disponibilizados, que fazem uso da tecnologia SAR, pela EMSA (*European Maritime Safety Agency*) para apoio às operações marítimas.

Estes programas permitem à Marinha ter acesso a diverso tipo de informação de que apoiam a missão da Marinha Portuguesa, como segurança marítima, monitorização do ambiente marinho, combate à poluição no mar, controlo de pescas, entre outros [41].

Alguns dos programas que disponibilizam informação SAR para apoio às operações marítimas são o SafeSeaNet Works, que permite combinar imagens SAR com informação de outros sistemas e sensores para controlo e segurança da navegação [42] e o CleanSeaNet Service que para combate à poluição [43]

Um exemplo da importância dos SAR no combate à poluição é a importância que esta tecnologia tem para detetar casos de poluição no mar e com auxílio a outros sistemas, como o AIS, poder rastrear o navio responsável.

As figuras 30 e 31 [34] mostram, a título de exemplo, informação disponibilizada por estes programas, neste caso, foi o exemplo da catástrofe ambiental resultante do afundamento do petroleiro “Prestige” ao largo da Galiza em Espanha, e que afetou fortemente Portugal.

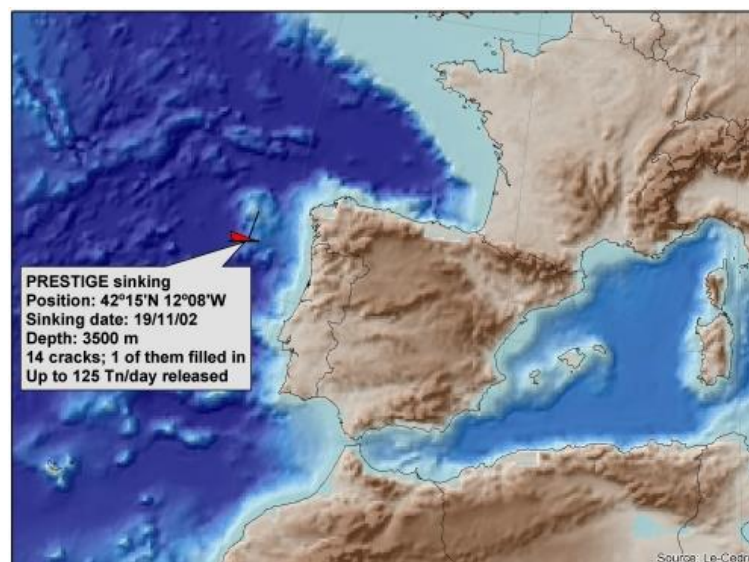


Figura 30. Posição do navio Prestige 2002

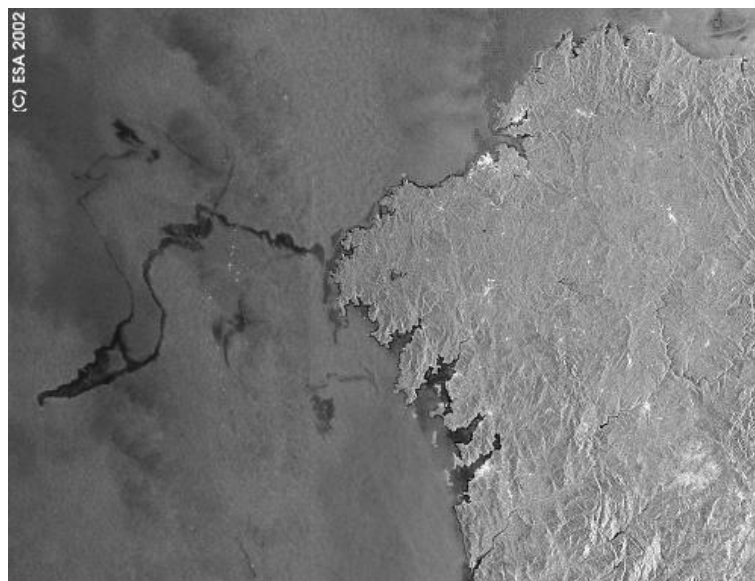


Figura 31 - Derrame do navio Prestige 2002

Ainda, em resposta à questão, realçando a hipótese d) é importante realçar, que existem outros modos da Marinha tirar partido das vantagens da tecnologia SAR, quer outras aplicações das imagens SAR obtidas por satélite, mas essencialmente através de sustentação do equipamento que não satélite. Contudo remetemos esta premissa para a questão 4.

2. A Marinha necessita de equipamento adicional de deteção remota? (Em caso afirmativo, para que tipo de missão/recurso?)

Por forma a responder à questão levantada, é preciso ter em conta dois fatores. Antes de mais é necessário perceber se existe “espaço” no leque de Equipamentos de Deteção Remota para o radar SAR, ou seja, que este tipo de Radar possui as características reconhecidas pelos utilizadores para o exercício das suas funções, complementando, inclusive, os sensores já existentes.

Caso se venha a confirmar a utilidade deste radar então ter-se-á que abordar a importância da recolha de informação no âmbito das missões.

A responder à primeira parte da questão, o 2º grupo de questões do inquérito mostrou as maiores limitações nos equipamentos atuais e

características que os utilizadores davam maior importância, que são características conseguidas pela tecnologia SAR.

O Radar foi considerado o equipamento de maior utilidade, e provou-se a importância da combinação de diferentes sistemas e sensores na aquisição de informação, pela atribuição de elevada importância a equipamentos como o AIS e o ECDIS (tabela 3).

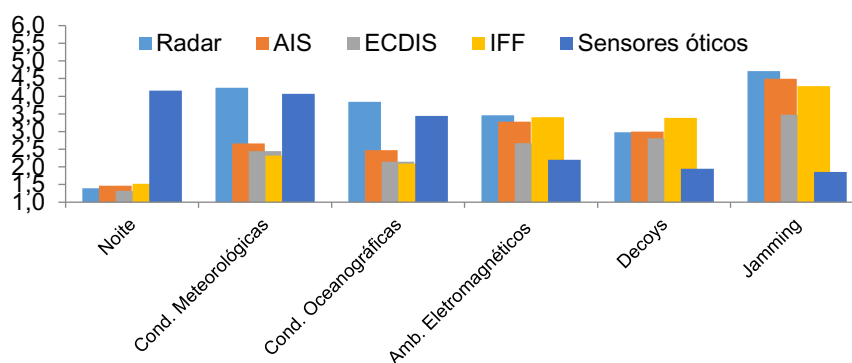
Tabela 3. Equipamentos de interesse para a missão

	Minimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Radar	3	5	4,86	0,405
AIS	3	5	4,14	0,670
ECDIS	2	5	4,32	0,868
IFF	0	5	2,39	1,351
Sensores óticos	1	5	3,85	1,115

Nota: (0 para "Nenhum interesse" e 5 para "Todo o interesse")

Realçam-se, na figura 33, os fatores que mais afetaram o desempenho dos equipamentos e que pouco afetam a tecnologia SAR, pelas suas características, foram a noite (sensores óticos), condições meteorológicas (Radar), Condições Oceanográficas (Radar) e *Jamming*²⁵ (Radar).

Gráfico 2. Fatores que mais afetam os vários equipamentos



²⁵ Emissões de sinais eletromagnéticos, que afetam sistemas ao provocarem saturação na receção ou criar ruído. Comparado com o radar convencional, o jamming afeta muito menos os radares SAR.

E os fatores mais relevantes foram Discriminação, Alcance e Resolução também características dos produtos SAR (tabela 4).

Tabela 4.Capacidades dos equipamentos de detecção remota

	Minimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Qualidade de imagem	1	5	2,46	1,38
Alcance	1	5	3,76	1,20
Discriminação	1	6	3,94	1,28
Resolução	1	5	3,12	1
Assinatura Eletromagnética	1	5	2,16	1,29

Passando ao âmbito das missões, entre as opções “cobrir a maior área possível” ou “localizar zonas de interesse, através de comunicados e sensores”, a segunda foi considerada a que permitia maior sucesso da missão, e também consideraram que essa era a prática.

Essa prática baseia-se na obtenção de informação pois permite rentabilizar os meios empregues e os recursos, como o financeiro e o tempo (EH, junho 2018).

Destacaram-se as duas perspetivas do conhecimento, a ausência e o tempo de aquisição. Ou seja, por forma a que os produtos SAR aumentem os níveis de eficiência e eficácia da operação a desenrolar, é necessário que, não só a imagem SAR tenha grande resolução e discriminação, mas que seja disponibilizada em tempo útil (UN, 2018).

No inquérito 83.7% da população considera que sentiu falta de ter acesso a outros sistemas que permitissem obter imagem do panorama local da área a patrulhar, para além daquelas a que teve acesso. Esta percentagem foi equivalente às entrevistas, uma vez que todos realçaram que é necessário acompanhar e evoluir a tecnologia porque a recolha de informação nunca será suficiente.

No tópico das missões, abordou-se uma missão específica, o apoio a populações sinistradas (tabela 5), onde os inquiridos consideraram que a

segurança, o pessoal e a obtenção de panorama são as necessidades mais importantes para as decisões de comando, quando chegados ao local.

Tabela 5. Necessidades no Local Sinistrado

	Responses	
	N	Percent
Informação	21	16,4%
Material Necessário	9	7,0%
Pessoal	3	2,3%
Panorama Geral	16	12,5%
Panorama após incidente	16	12,5%
Meios Necessários	8	6,3%
Segurança	2	1,6%
Comunicações	19	14,8%
Formação	3	2,3%
PCALocal/Apoio em terra	6	4,7%
Assistência médica	7	5,5%
Comando e controlo	13	10,2%
Projeção para o terreno	3	2,3%
Condições de Evacuação	2	1,6%
Total	128	100,0%

a. Dichotomy group tabulated at value 1.

Ao abordar-se os entrevistados sobre este resultado, por um lado consideraram que não atribuíam grau de importância entre os resultados mais escolhidos, pois todos eles estão dependentes uns dos outros. Por outro, sugeriram que a obtenção de panorama do local deveria ser uma das maiores preocupações quando chegados ao local, porque sem a recolha de informação não será possível assegurar a segurança (DLA, maio 2018)

No sentido da importância da informação em cenários de risco inerentes deste tipo de missão foi referido que sem a melhor análise do panorama põe-se em risco a segurança: “[...] há ali uma série de pressupostos que nós sabemos ou podemos deduzir quando fazemos uma análise de missão e um dos pontos

que temos de olhar é para os riscos e para os perigos, mas serão sempre, até termos a informação, serão sempre deduzidos.” (UN, maio 2018).

3. A Marinha Portuguesa já desenvolveu estudos sobre SAR

Através da pesquisa e dos inquéritos apurou-se que o nível de conhecimento é na Marinha Portuguesa reduzido, demonstrando conhecer pouco a tecnologia e a sua aplicabilidade por falta de divulgação e contacto com a mesma.

Os entrevistados concordaram dizendo que não tem conhecimento de estar a ser utilizada nem divulgada, contudo esta tecnologia não é desconhecida, inclusive, o entrevistado da EH revelou a participação da Marinha no programa Copernicus, “ao associar-se ao grupo de trabalho liderado pela FCT (Fundação para as Ciências e Tecnologias) que esteve na génese dos contributos de Portugal para a Agência Europeia.” (EH, junho 2018), o que nos sugere que produtos SAR obtidos por satélite são utilizados pela Marinha Portuguesa.

4. Como poderá ser a sua aplicabilidade na Marinha?

O cenário específico apresentado, de apoio a populações sinistradas, tentou-se também perceber quais os métodos que os inquiridos considerariam para obter informação do local sinistrado, e as escolhas variaram em maioria para informação satélite e via meios aéreos, UAV ou Meios/Imagens Aéreas (tabela 6).

Tabela 6 -Melhor forma de obter informação para local sinistrado

	N	%
Comunicações	4	9,5
UAV	12	28,6
SAT	19	45,2
Meios/Imagens Aéreas	10	23,8
SAR	3	7,1
Equip. Terrestres	1	2,4
Equip. Eletro-óticos	1	2,3
SIG	5	11,6

De realçar, neste tipo de cenários, uma das formas mais utilizada para obter rapidamente imagens do local, apesar das diferentes ferramentas existentes, são as imagens extraídas do *Google maps*, que não estão atualizadas, pelo que imagens SAR de satélite, com um tempo de aquisição de umas horas já se tornava benéfico (DLA, 2018).

Assim sendo o último de grupo de perguntas do inquérito confirmou que ambos os métodos têm grande interesse para adotar a tecnologia SAR na Marinha, dividindo as opiniões com grandes percentagens (tabela 7).

Tabela 7 -Avaliação do melhor método de implementação nas missões

	i		ii	
	N	%	N	%
Missões de Busca e Salvamento	35	72,9	31	64,6
Apoio a populações sinistradas	27	56,3	38	79,2
Navegação	17	35,4	30	62,5
Escolta de comboios marítimos/ navios	28	58,3	28	58,3
Combate à poluição	27	56,3	39	81,3
Combate ao tráfico ilegal	31	64,6	33	68,8
Combate à imigração ilegal	31	64,6	30	62,5
Apoio humanitário e médico	28	58,3	33	68,8
total	224	46.1	262	53.9

Nota: i - recurso a meios orgânicos nos navios, helicópteros e UAV; ii - equipa fora das Unidades Navais que recolhe e trata a informação fornecida por satélite e disponibiliza às unidades navais

O resultado obtido foi mostrado aos entrevistados para perceber a viabilidade dos métodos. Neste caso, as respostas dispersaram pelo que decidiu-se dividir os meios aéreos em helicópteros e UAV e apresentar os possíveis métodos para adquirir a tecnologia.

- Utilização de UAV: Todos os entrevistados frisaram a importância que os UAV têm e do crescente interesse, dada a facilidade de utilização e baixo custo, para além de atualmente permitirem a utilização de novas tecnologias não só SAR, mas também *life streaming* (DLA, 2018).

- Utilização de Helicópteros: Os helicópteros tiveram grande interesse por parte dos inquiridos para formação do panorama e têm sido um dos grandes métodos já utilizados pela Marinha Portuguesa, realçando as mais valias do fator humano. Contudo, considerou-se que este método não teria viabilidade para adotar a tecnologia, porque esta teria de ser desenvolvida e estudada por forma a integrar os restantes sistemas já existentes. Nesse sentido torna-se mais viável adquirir meios com a tecnologia SAR, do que tentar reestruturar os existentes (CEOV, 2018).

- Utilização de informação SAR obtida por satélite: Relativamente ao método mais escolhido pelos inquiridos, deve-se a uma questão mais prática, uma vez que nem todos os navios tem capacidade de ter helicóptero embarcado e os UAV ainda não têm uma realidade de emprego. Torna-se mais viável de por em prática num relativo curto espaço de tempo, sermos somente consumidores da tecnologia.

Nesse sentido, considerou-se que a Marinha poderia adotar num modelo dual (EH, junho 2018), pois a escolha do método está dependente da missão e análise requerida. Os meios aéreos a ser usados em casos mais concretos e *time sensitive* e a equipa em terra poderia ter um grande impacto para recolha de informação pré-crise de forma diária e permanente. (UN,2018).

Tomando mais uma vez como exemplo, o caso de apoio a populações sinistradas, a tecnologia poderia ser utilizada em paralelo, fazendo uso de imagens satélite antes de chegarem ao local, para apreciação do panorama e das condições de segurança essenciais à utilização do 2º método, utilizado durante

as operações das equipas no terreno. A recolha de informação constante e pré-crise pela equipa em terra permite criar uma base da qual vão partir as operações, “veremos o que é que foi alterado àquele padrão, qual é que é a nova realidade” (UN, 2018).

5. Terão os radares SAR utilidade para a Marinha Portuguesa, considerando as missões que desenvolve no âmbito das suas competências?

Os radares SAR mostraram ter as características necessárias para pertencer ao leque de Equipamentos de Detecção Remota essenciais ao sucesso das missões. Comprovou-se que já está em uso imagens SAR obtidas por satélite, mas esse conhecimento é muito reduzido. A análise do estudo sugere o método de adoção da tecnologia SAR a bordo de UAV, como de interesse para a Marinha.

4.6 Discussão de Resultados

4.6.1 Ambiente de Estudo

A tecnologia SAR tem sido alvo de investigação e rápida evolução. Devido às suas características e potencialidades tem sido objeto de estudo, não só por parte de entidades civis, mas também por parte de diversas Forças Armadas a nível internacional.

Os radares SAR permitem imagens de alta resolução, com antenas simuladas, ou seja, fisicamente viáveis em meios não só satélite, mas meios aéreos como helicópteros e UAV. A aquisição das imagens pode ser feita dia e noite, independente das condições meteorológicas e é pouco afetado por *jamming*.

Comparado ao sistema radar convencional, que detém uma importância extrema, os radares de abertura sintética, trazem contributos para o leque de sistemas e sensores já existentes.

No abrangente número de missões sob a responsabilidade da Marinha Portuguesa, é conhecido o valor acrescido da localização de áreas de interesse para um maior sucesso da operação, é necessário obter informação atual e

credível, em tempo útil pelo que o uso de sensores de deteção remota prova-se assim de grande importância.

Atualmente, a informação SAR é um recurso acessível no apoio ao panorama de operações de âmbito militar. Tanto pode ser usada captando imagens satélites, que permitem cobrir a superfície terrestre, tratadas em agências internacionais e disponibilizadas a nível global, como captadas utilizando meios aéreos, como helicópteros e UAV. Neste caso, podendo até ser utilizados, como meios orgânicos dos próprios navios.

Após se responderem às perguntas de partida, surgiu uma aresta que foi apurada posteriormente, no EMA (Estado Maior da Armada) e descobriu-se o interesse da Marinha em adquirir UAV's.

Apesar de a tecnologia não vir corrigir todos os problemas, pode vir a ser um grande complemento na aquisição de dados, que nunca satisfaz o usuário, "Assim, e apesar de considerar que a Marinha já ter acesso a vasta informação de todo o tipo, nunca será demais continuar a desenvolver esforços em aperfeiçoar a qualidade dessa mesma informação." (CITAN, 2018).

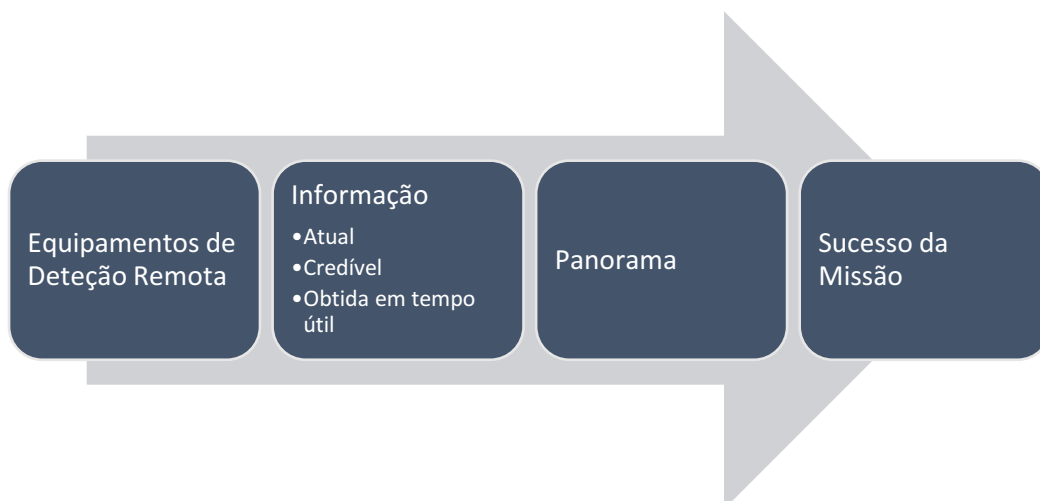


Figura 32. Importância dos Equipamentos de Deteção Remota no sucesso das missões

4.6.2 Utilização na Marinha Portuguesa

Os oficiais apresentaram, a importância da Marinha Portuguesa se manter na vanguarda das tecnologias, querer conhece-las e adquiri-las, salientando a importância da divulgação destas porque a integração de novas tecnologias, cria

uma mudança na organização, é necessário haver estudos, escolha de requisitos e obter pessoas especializadas (treino).

Considera-se que os SAR têm uma importância prática principalmente devido as características técnicas, aos produtos resultantes e à abrangência de missões que a Marinha participa, e em particular, na gestão das emergências como, combate à poluição marítima ou apoio a populações sinistradas, como por exemplo um caso do passado muito recente, os incêndios.

Apurou-se com o COMAR que a Marinha faz uso de ferramentas disponibilizados pela EMSA que utilizam imagens de satélites SAR para apoio às operações marítimas. No entanto, considera-se que a sua divulgação da tecnologia aumentaria o seu potencial para a Marinha Portuguesa.

Apesar da Marinha Portuguesa ser atualmente só consumidora da tecnologia, através de informação satélite, pois não faz uso desta tecnologia, a Marinha deveria investigar e desenvolver esta tecnologia por forma a apresentar a sua futura viabilidade (CEOV, junho 2018).

Levado a cabo, uma pesquisa sobre o interesse da Marinha Portuguesa em adotar UAV que podem ser capacitados de tecnologia SAR, foram apresentados dois protocolos com duas empresas nacionais, a TEKEVER e a UAVISION, para aquisição de UAV, que terão como objetivo, missões como operações anfíbias, operações de proteção portuária, operações hidrográficas e oceanográficas, entre outros (Clausula 1ª.5.a) do protocolo de colaboração entre a Marinha e a UAVISION)

Um dos UAV que foi tido em conta foi um projeto a ser desenvolvido, o Albatroz, pela estatura e missões pretendidas poderia ser levado a cabo uma pesquisa dos requisitos por forma a perceber a capacidade de habilitação da tecnologia SAR. Este projeto, segundo a Clausula 6ª.5) do protocolo de colaboração entre a Marinha e a UAVISION, encontra-se no estado de desenvolvimento, ou seja, utiliza uma metodologia de definição progressiva de requisitos.

Por último, apresenta-se o ISAR, apresentado neste trabalho anteriormente, que permite a um radar estático, obter informação de alvos móveis e que se

prevê potencial para ser estudado por forma a ser utilizado para monitorização costeira.

Conclusão

A tecnologia SAR tem sido objeto de estudo e desenvolvimento ao longo de várias décadas, tendo-se comprovado a sua importância nas vertentes económica, ecológica, demográfica e outras.

Relativamente às suas inúmeras aplicações, destaca-se o desenvolvimento tecnológico do SAR no âmbito da segurança internacional. Sobretudo pelas Forças Armadas que pretendem manter-se na vanguarda da tecnologia.

Apesar do interesse internacional e das parcerias com empresas civis as quais divulgam as suas inovações e desenvolvimentos tecnológicos, no âmbito militar o acesso à informação sobre o uso desta tecnologia está envolvido nalgum secretismo, criando constrangimentos que limitam a construção teórica direcionada ao seu uso.

O objetivo do presente trabalho centrou-se principalmente e logo a partir da construção do estado de arte, em apurar, estruturar e apresentar a base matemática fundamental para o entendimento dos procedimentos necessários para trabalhar com os dados adquiridos pelos sistemas SAR, bem como perceber as diferenças face aos radares convencionais.

O processo de aprendizagem, permitiu formar uma imagem SAR a partir de dados SAR em bruto recorrendo ao desenvolvimento de um programa, com recurso a linguagem MATLAB, de forma a demonstrar os procedimentos necessários para a formação de imagem, cujos produtos serviram de método de comparação para imagens resultantes de sistemas óticos.

Também, para uma apreciação global do interesse e corrente recurso à tecnologia no seio da Marinha Portuguesa o trabalho foi orientado para a pesquisa do nível de conhecimento dos oficiais de Marinha Portuguesa que fazem uso de sistemas de deteção remota. Os dados revelaram ausência ou pouco conhecimento sobre o SAR, resultando congruência com a falta de formação e divulgação da tecnologia. Tal, afirma-se como uma barreira para o recurso à tecnologia como meio complementar dos atuais sistemas em uso.

Após uma sessão de esclarecimento e divulgação, levado a cabo no decorrer da dissertação, os inquiridos e entrevistados consideraram que o SAR reunia grandes potencialidades de aplicação na Marinha Portuguesa. Em certas condições superiores aos meios de que dispõem, destacando a facilidade de gerar imagens de alta resolução, de operar de dia e noite e em condições meteorológicas extremas, para obter informação atual e credível em tempo útil.

Em suma, o SAR foi considerado um recurso acessível para apoio ao panorama de operações de âmbito militar, através de imagens de alta qualidade, construídas a partir de dados captados por satélite e tratadas por agências internacionais e disponibilizadas a nível global. Foi também possível perceber que a Marinha recorre, por vezes, ao uso destes produtos, sem que os seus utilizadores tenham o conhecimento e a perceção que estarem a usar produtos finais resultados do SAR.

Os resultados indicaram, nesse sentido, que seria benéfico estabelecer programa de formação no âmbito do SAR, tornando-o objeto de estudo e transmissão de conhecimento, potenciando a capacidade de adaptação às novas tecnologias de deteção remota.

O Estudo, possibilitou um impacto positivo na divulgação da tecnologia, em diferentes áreas de operação junto de oficiais responsáveis. Tanto através dos inquéritos que exibiram diversa informação sobre os SAR como em resultado das entrevistas estruturadas e não estruturadas que foram realizadas.

Concluiu-se que o SAR não deverá ser considerado substituto de tecnologia já existente, mas sem dúvida, apresentou-se como uma tecnologia do interesse geral dos inquiridos, para complemento ao leque de sistemas e sensores já utilizados.

Contudo, apesar dos estudos efetuados sobre os sistemas e aplicações SAR, as suas potencialidades parecem ainda estar longe de serem totalmente conhecidas, especialmente no âmbito da Marinha Portuguesa. Considera-se assim importante no futuro:

- Formação de oficiais com competências na análise de imagens SAR, potenciando a compilação de informação entre os diferentes sistemas de deteção;
- Estudar a formação da imagem desenvolvendo as competências necessárias para o processamento de dados e formação de imagens;
 - Estudo comparativo de entre os diferentes algoritmos que podem ser implementados no Matlab ou com outra linguagem de programação para melhor desempenho e integração com os outros módulos.
- Estudo da implementação de ISAR costeiros, por exemplo, para vigilância da costa e monitorização dos processos migratórios;
 - Analisar a necessidade de substituir equipamentos potencialmente obsoletos por equipamentos com menores custos de manutenção;
 - Perceber as limitações e vantagens na cobertura atual destes equipamentos, e sua compatibilização com outras novas tecnologias, dada a capacidade de extração de informação em qualquer condição meteorológica e o tipo de imagens;
- Importância da tecnologia/ informação SAR nas missões das forças de fuzileiros, considerando diferentes condições meteorológicas e geológicas, por exemplo, perceber o impacto da utilização das imagens satélite SAR em missões de reconhecimento, contribuindo para o estudo dos métodos, da facilidade e do tempo de acesso aos objetivos;
- Analisar a importância da utilização de UAV com tecnologia SAR a bordo de unidades navais, com meio complementar de outros sistemas de informação: (des) vantagens da tecnologia SAR associada aos sensores eletro-óticos.

Bibliografia

- [1] J. Owens, M. Marcelin e B. Hunt, "Compression of synthetic aperture radar phase history data using trellis coded quantization techniques," em *Proceedings of international Conference on Image Processing*, Santa Barbara, CA, 1997.
- [2] C. Oliver e S. Quengan, *Understanding Synthetic aperture radar images*, Scitech publishing, 2004.
- [3] A. E. Boustani, K. Bruham e W. Kinser, "A review of current raw SAR data compression techniques," em *Canadian Conference on eletrical and computer engineering.* , Toronto, Ontario, Canada, 2001.
- [4] E O College - Universitat Jena, *Echoes in space. Introdution to radar remote sensing*, 2017.
- [5] E. Brown e M. Fingas, "Synthetic aperture radar," *IEEE transtions on Aerospace and eletronic Systems*, Vols. %1 de %2AES-3 (2), pp. 217-229, 2013.
- [6] X. Li, H. Guo, L. Zhang, X. Chen e L. Liang, "A new approach to collapsed building extraction using RADARSAT-2 polarimetric SAR imagery," *EEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 9 (4), p. 677–681, 2012.
- [7] Y. Chan e V. Koo, "An introduction to synthetic aperture radar (SAR)," *Progress in electromagnetics Research B*, vol. 2, pp. 27-60, 2008.
- [8] M. Inggs e R. Lord, "Applications of satellite imaging radar," *Univerity of cape Town*.
- [9] W. Browm e L. Porcello, "An introduction to synthetic-aperture radar," *IEE Spectrum*, vol. 6 (9), pp. 52-62, 1969.
- [10] D. Williams, "Magellan fact sheet," 2004.

- [11] | European Space Agency, "Sentinel-1: Radar mission," 2014. [Online].
Available: <https://unavco.org/instrumentation/geophysical/imaging/sar-satelites/sar-satelites.html>. [Acedido em 15 Fevereiro 2018].
- [12] | UNAVCO, "unavco.org," [Online]. Available: <https://unavco.org/instrumentation/geophysical/imaging/sar-satelites/sar-satelites.html>. [Acedido em 15 Fevereiro 2018].
- [13] | n. Report, 2017. [Online]. Available: <https://www.lincolnelectric.com/en-gb/company/Documents/annualreport2007.pdf>.
- [14] | P. Lacomme, H. J.P., J. Masrchas e N. E. , Air and Spaceborne Radar Systems: An Introduction (Spie Press Monograph), NYC: SCITTech, 2001.
- [15] | FAO, "Sustainable development goals," 2018. [Online]. Available: <http://FAO.org/sustaine-develoment goals>.
- [16] | J. Goulão, Avaliação do risco: métodos quantitativos aplicados a eventos de ordem publica, Lisboa: ISCPSI, 2016.
- [17] | J. B. Guerra, I. C. F. Cecarelli e B. F. Lomonaco, "Análise da viabilidade do uso das técnicas DInSAR e PSInSAR com dados TerraSAR X para monitorar movimentos da superfície na região da UHE Salto Pilão-SC," em ANAIS, XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, , 2011.
- [18] | K. & K. M. Oštir, "PSInSAR and DInSAR methodology comparison and their applicability in the field of surface deformations—a case of NW Slovenia.," *Geologija*, vol. 50 (1), pp. 77-96, 2007.
- [19] | Sikora T. D, "Applications of Synthetic Aperture Radar to Meteorology and Oceanography Command Operations," *Journal of atmospheric and oceanic tecchnologia and oceanography*, 2010.
- [20] | J. Mchale, "Synetic aperture radar technology key oart of space-based radar.," *militar & Aerospace..*
- [21] | L. Ramon, "Raytheon scopes synthetic aperture radar for US Navy," *SOURCE: FLIGHT INTERNATIONAL*, 2001.

- [22] | K. Kasitz, "GA-ASI Successfully Demonstrates Enhanced SAR-based Maritime ISR Capabilities During U.S. Navy Experiment Trident Warrior 2011," Octubre 2011. [Online]. Available: <http://www.ga-asi.com/ga-asi-successfully-demonstrates-enhanced-sar-based-maritime-isr-capabilities-during-us-navy-experiment-trident-warrior-2011>. [Acedido em 2018].
- [23] | L. Thompson, "Air force rationale for killing J-stars radar plane replacement isn't credible," 25 Setembro 2017.
- [24] | Military-Today, "Boeing P-8 Poseidon," 2018. [Online]. Available: http://www.military-today.com/aircraft/boeing_p8_poseidon.htm. [Acedido em 2018].
- [25] | J. Keller, "Army orders 20 MQ-1C Gray Eagle attack and reconnaissance UAVs and control stations," Maio 2017. [Online]. Available: <https://www.militaryaerospace.com/articles/2017/05/attack-surveillance-uavs.html>. [Acedido em 2017].
- [26] | J. Keller, "North to operate man-hunting airborne radar system for operation in Afghanistan," 2014.
- [27] | R. Tomkins, "Thales supplying crownest radar system to Royal Navy," *www.upi.com*, Janeiro 2017.
- [28] | "Jane's 360," 2015. [Online]. Available: www.janes.com/article/54622/wildcats-loos-dsei15-d4.
- [29] | D. Pugliese, "ottawacitizen.com," 2017. [Online]. Available: <https://ottawacitizen.com/news/national/defence-watch/update-on-defence-industry-contracts-and-announcements>. [Acedido em 2017].
- [30] | D. Cenciotti, "Recognized Maritime pictures, sensor fusion and AIS: Inside Italian Navy's new maritime operation center," Abril 2012. [Online]. Available: <https://theaviationist.com/2012/02/04/cincnav/>. [Acedido em 2017].

- [31] | M. Iriarte, "Leonardo's AESA radar to be installed in french army's UAV," Fev 2017. [Online]. Available: <http://mil-embedded.com/news/leonardos-aesa-radar-to-be-installed-in-french-armys-uav/>. [Acedido em 2017].
- [32] | D. Majumdar, "Russia and China have a senaky way to crush America if world war III goes down," 2017. [Online]. Available: <http://nationalinterest.org/issue/septembre-octobre-2017>. [Acedido em 2018].
- [33] | P. Marques, Moving objects imaging and trajectory estimation using a single synthetic aperture radar sensor, Lisbon: Instituto Superior Técnico , 2004.
- [34] | P. Marques, High resolution SAR imaging and signal processing, Lisboa: Instituto Superior de Engenharia, 2016.
- [35] | Direção Geral do Território, "Breve descrição dos satelites Sentinel," Janeiro 2017. [Online]. Available: www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/detcao_remota/copernicus/componente_espaco/breve_descricao_dos_satelites_sentinel/. [Acedido em 2018].
- [36] | IIBA, A guide to the business analysis body of knowledge, IIBA: International Institute of Business Analysis, 2015, p. 99.
- [37] | S. R. d. Andrade, A. B. Ruof, T. Piccoli, M. D. Schmit, A. Ferreira e A. C. A. Xavier, "O ESTUDO DE CASO COMO MÉTODO DE PESQUISA EM ENFERMAGEM:UMA REVISÃO INTEGRATIVA," *Texto Contexto Enferm*, vol. 26 (4), pp. 2-12, 2017.
- [38] | L. M. Dooley, "Case Study Research and Theory Building.," *Advances in Developing*, vol. 4, pp. 335-354, 2002.
- [39] | E. Yacuzzi, El estudio de caso como metodologia de investigación: teoría,, 2015.
- [40] | M. Endsley, "Measurement of situation awareness in dinamic systems," *Human Factors*, vol. 37, pp. 32-64, 2011.

- | EMSA, “Copernicus maritime surveillance product catalogue,” 2018. [Online].
- [41] Available: www.emsa.europa.eu/cbs-menu/itams.html?cid=122&id=3025. [Acedido em 2018].
- | EMSA, “How safe-sea-net works,” 2018. [Online]. Available:
- [42] www.ensaemsa.europa.eu/ssn-main-ssn-how-it-works.html. [Acedido em 2018].
- | EMSA, “Cleanseanet Service,” 2018. [Online]. Available:
- [43] www.emsa.europa.eu/csn-menu.html. [Acedido em 2018].
- | L. Report, 2017. [Online]. Available: [https://www.lincolnelectric.com/en-](https://www.lincolnelectric.com/en-gb/company/Documents/annualreport2007.pdf)
- [44] [gb/company/Documents/annualreport2007.pdf](https://www.lincolnelectric.com/en-gb/company/Documents/annualreport2007.pdf).

ANEXO 1 – Demonstração da Equação Radar SAR

Na transmissão e recepção de um sinal que é refletido por um alvo que se encontra no solo à distância R , onde se considera a mesma antena para transmissão e recepção, P_t = Potência de Transmissão; σ = *Radar Cross Section*; D = largura real da antena e g = Ganho da antena:

$$g = \frac{4\pi D}{\lambda^2} \quad (2)$$

Esquemáticamente, após a transmissão, a energia, dependente da Potência de Transmissão e do Ganho da Antena, expande-se ao longo da distância R , propagação esférica $\frac{1}{4\pi R^2}$. Ao atingir o alvo o sinal é refletido na direção oposta, expandindo-se à medida que percorre R . Contudo, devido à secção transversal (*Radar Cross Section*), o valor refletido será diferente do recebido. À chegada de novo à antena, a densidade de Potência que chega, não é igual à Potência recebida pela antena, pois está dependente da sua abertura.

$$\text{Equação Radar: } P_r = \frac{P_t g}{4\pi R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi R^2} \cdot D = \frac{P_t g}{(4\pi)^2 R^4} \sigma \cdot D \quad (3)$$

Na expressão (3), a Potência recebida, como explicado no parágrafo anterior, pode ser dividido em 3 partes. A primeira parte da expressão é o fator da densidade de potência transmitida (Potência de Transmissão da antena vezes o ganho desta, mas que se expande ao longo de R).

Na segunda parte é multiplicado o primeiro com o segundo fator para obtermos a densidade de potência recebida pela antena. O sinal que retorna é influenciado pelo *Radar Cross Section* do alvo, e novamente, há expansão ao longo de R .

Na terceira e última parte da expressão (3), é multiplicada a densidade de potência recebida pela área da antena para que obtenhamos somente a Potência Recebida pela antena.

Através desta expressão, podemos obter qual a distância máxima, para que a antena receba eco. Nesse sentido assume-se $P_r = S_{min}$, sensibilidade mínima da antena para receber energia.

$$R^4 = \frac{P_t g D}{(4\pi)^2 S_{min}} \sigma \quad (4)$$

Para desenvolvermos a equação (4), assumimos que é a mesma antena que transmite e recebe. Logo, o ganho, g , é igual tanto na situação de transmissão, quer de recepção, logo, desenvolvendo a equação (2) em ordem à largura da antena:

$$g = \frac{4\pi D}{\lambda^2} \Leftrightarrow D = \frac{g\lambda^2}{4\pi} \quad (5)$$

Substituindo a expressão da área da antena na expressão (4) do alcance, obtém-se então a distância máxima, para que a antena receba eco:

$$R^4 = \frac{P_t g \frac{g\lambda^2}{4\pi}}{(4\pi)^2 S_{min}} \sigma \Leftrightarrow R = \sqrt[4]{\frac{P_t g^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 S_{min}} \sigma} \quad (6)$$

Após obtermos a Equação de Onda de um Radar Convencional pretendemos obter a Equação de Onda correspondente ao Radar SAR. Nesse sentido, teremos de partir da equação (3) $P_r = \frac{P_t g}{(4\pi)^2 R^4} \sigma \cdot A$, na qual desenvolveremos D , expressão (5), por forma a facilitar contas.

$$P_r = \frac{P_t g D}{(4\pi)^2 R^4} \sigma = \frac{P_t g \frac{g\lambda^2}{4\pi}}{(4\pi)^2 R^4} \sigma = P_t \frac{g^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \sigma \quad (7)$$

Precisamos também da potência recebida por pulso, e uma vez que estamos a sintetizar uma antena, precisaremos também do número de impulsos na Abertura Sintética, N_A , e do tempo de cada pulso, T_p .

$$N_A = PRF \cdot T_A = PRF \cdot \frac{R\lambda}{VL} \quad (8)$$

Na expressão (8), temos o número de impulsos na Abertura Sintética PRF (*Pulse Repetition Frequency*) com T_A = Tempo da Abertura Sintética e L = comprimento da antena;

$$\text{Equação Radar SAR: } P_{rSAR} = P_r \cdot N_A \cdot T_p = P_t \cdot T_p \cdot PRF \cdot \frac{g^2 \lambda^3}{(4\pi)^3 R^3 VL} \sigma \quad (9)$$

ANEXO 2 – Código MATLAB para criação de Imagem SAR

```
%% INITIALIZATION Functions (do not change)

function varargout = GUI_SF_002(varargin)
% GUI_SF_002 MATLAB code for GUI_SF_002.fig
%     GUI_SF_002, by itself, creates a new GUI_SF_002 or raises the
existing
%     singleton*.
%
%     H = GUI_SF_002 returns the handle to a new GUI_SF_002 or the
handle to
%     the existing singleton*.
%
%     GUI_SF_002('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the
local
%     function named CALLBACK in GUI_SF_002.M with the given input
arguments.
%
%     GUI_SF_002('Property','Value',...) creates a new GUI_SF_002 or
raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value
pairs are
%     applied to the GUI before GUI_SF_002_OpeningFcn gets called.
An
%     unrecognized property name or invalid value makes property
application
%     stop. All inputs are passed to GUI_SF_002_OpeningFcn via
varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows
only one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help GUI_SF_002

% Last Modified by GUIDE v2.5 26-Aug-2018 17:52:37

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @GUI_SF_002_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @GUI_SF_002_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
```

```

else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
function varargout = GUI_SF_002_OutputFcn(~, ~, handles)
% varargout    cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject     handle to figure
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% Reset do GUI

set(gcf, 'Resize', 'off')                % Disable resize for GUI

function GUI_SF_002_OpeningFcn(hObject, ~, handles, varargin)

%% Initialization

% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject     handle to figure
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin    command line arguments to GUI_SF_002 (see VARARGIN)

% Clean-up

clc;
commandwindow;

clear p data

% Choose default command line output for GUI_SF_002
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% End initialization code - DO NOT EDIT

% Load user-defined functions

current_folder = pwd;                    % Gets current path
default_folder = 'AddFunctions';        % Predefined location of
functions

addpath(strcat(current_folder, '/', default_folder));

% Flags

% GUI Reset

```

```

% Run if in AUTO mode

% Reset do GUI

reset_inputs(hObject, handles, 1);
reset_plots(hObject, handles);

%% Initial functions

function reset_inputs(~, handles, option)

% Pop-Up lists

plot_list = {'01. Dados em Modulo', '02. Fase dos Dados'...
             '1a Compressao (Alcance)', '2a Compressao (Azimute)'...
             };

% Initial location

% Intial setup of menus/options

switch(option)

    % Cleaning

    case 1

        % Menus

        set(handles.popup_1, 'String', '-');
        set(handles.popup_2, 'String', '-');

        set(handles.popup_1, 'Enable', 'Off');
        set(handles.popup_2, 'Enable', 'Off');

        set(handles.popup_1, 'Value', 1);
        set(handles.popup_2, 'Value', 1);

        set(handles.Menu_2_2, 'Enable', 'Off');
        set(handles.Menu_3_1, 'Enable', 'Off');

```

```

        set(handles.Menu_3_2,'Enable','Off');

    case 2

        % Menus

        set(handles.popup_1,'String',plot_list);
        set(handles.popup_2,'String',plot_list);

        set(handles.popup_1,'Enable','On');
        set(handles.popup_2,'Enable','On');

        set(handles.popup_1,'Value',1);
        set(handles.popup_2,'Value',2);

    end
    function reset_plots(~, handles)

        % Reset Plot #1

        axes(handles.axes1);
        cla('reset'); hold on; grid on;
        plot([0 1],[0 1],'Color',[0.4,0.4,0.4]);
        plot([0 1],[1 0],'Color',[0.4,0.4,0.4]);

        % Reset Plot #2

        axes(handles.axes2);
        cla('reset'); hold on; grid on;
        plot([0 1],[0 1],'Color',[0.4,0.4,0.4]);
        plot([0 1],[1 0],'Color',[0.4,0.4,0.4]);

        %% GUI Functions

        function update_plot(~, handles, axis)

            %% FUNCTION: Update Plots

            % Check plot window to be updated

            switch(axis)

                case 1

                    axes(handles.axes1);
                    option = get(handles.popup_1,'Value');

                case 2

                    axes(handles.axes2);
                    option = get(handles.popup_2,'Value');

            end

            % Plot general settings

```

```

Menu_plot = uicontextmenu;
top_menu  = uimenu('Parent',Menu_plot,'Label','Menu');

% Preparation for update

hold off;
grid off;

cla;
cla('reset');

% Color setting

% https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/colormap.html

color = [ 0.3 0.3 0.3
          0.4 0.4 0.4
          0.5 0.5 0.5
          0.6 0.6 0.6
          0.7 0.7 0.7
          0.8 0.8 0.8
          0.9 0.9 0.9
          1.0 1.0 1.0    ];

% Calculate Data

[p, data] = calc_main(handles);

% Plotting data

switch(option)

    % (insert name of plot)

    case 1

        % Preparation

        hold on;
        grid off;

        % Variables

        var_x = p.vec_azimuth;
        var_y = p.vec_range;
        var_z = data;

        % Plotting

        imagesc(var_x,var_y,20*log10(abs(var_z)));

        % Adjustments

        switch(axis)

```

```

        case 1

            colorbar;
            colormap(handles.axes1, 'default');

        case 2

            colorbar;
            colormap(handles.axes2, 'default');

    end

    caxis([-40 0]);

    plot_title    = 'Dados em Modulo';

    x_label = 'Azimute (m)';
    y_label = 'Alcance (m)';

    % (insert name of plot)

    case 2

        % Preparation

        hold on;
        grid off;

        % Variables

        var_x = p.vec_azimuth;
        var_y = p.vec_range;
        var_z = data;

        % Plotting

        imagesc(var_x,var_y,angle(var_z));

        % Adjustments

        switch(axis)

            case 1

                colorbar;
                colormap(handles.axes1, 'default');

            case 2

                colorbar;
                colormap(handles.axes2, 'default');

        end

```

```

    plot_title = 'Fase dos Dados';

    x_label = 'Azimute (m)';
    y_label = 'Alcance (m)';

    % (insert name of plot)

case 3

    % Preparation

    hold on;
    grid off;

    % Variables

    var_x = p.vec_azimuth;
    var_y = p.vec_range;
    var_z = p.fftdata_1;

    % Plotting

    imagesc(var_x, var_y, 20*log10(abs(var_z /
max(abs(var_z(:))))));

    % Adjustments

    switch(axis)

        case 1

            colorbar;
            colormap(handles.axes1, 'default');

        case 2

            colorbar;
            colormap(handles.axes2, 'default');

    end

    plot_title = '1a Compressao (Alcance)';

    x_label = 'Azimute (m)';
    y_label = 'Alcance (m)';

    % (insert name of plot)

case 4

    % Preparation

    hold on;

```

```

grid off;

% Variables

var_x = p.vec_azimuth;
var_y = p.vec_range;
var_z = p.fftdata_2;

% Plotting

imagesc(var_x, var_y, 20*log10(abs(var_z /
max(abs(var_z(:))))));

% Adjustments

switch(axis)

    case 1

        colorbar;
        colormap(handles.axes1, color);

    case 2

        colorbar;
        colormap(handles.axes2, color);

end

caxis([-40 0]);

plot_title = '2a Compressao (Azimute)';

x_label = 'Azimute (m)';
y_label = 'Alcance (m)';

otherwise

    print('Error. Not a valid plot option');

end

% Plot adjustments

title(plot_title);

xlabel(x_label);
ylabel(y_label);

% Sub Options

uimenu('Parent',top_menu,'Label','Open in new
figure','Callback',@export_plot_callback);
set(gca,'uicontextmenu', Menu_plot);

```



```

% Final cleaning

clear var_x var_y plot_title x_label y_label
function [] = export_plot_callback(~, ~, ~)

% Variables

legend_pos = 'NorthEast';
legend_box = 'Off';

% Color setting

% https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/colormap.html

color = [ 0.3 0.3 0.3
          0.4 0.4 0.4
          0.5 0.5 0.5
          0.6 0.6 0.6
          0.7 0.7 0.7
          0.8 0.8 0.8
          0.9 0.9 0.9
          1.0 1.0 1.0 ];

% Export axes/plot

plot_axes = findobj(gca, 'type', 'axes');
[~,~,~,text] = legend;
fig_title = 'Exported Figure';

% Abrir figura

f = figure('Name', fig_title, 'NumberTitle', 'off');
plot_new = copyobj(plot_axes, f);

colormap(color);

if ~isempty(text)

    legend(text, 'Location', legend_pos, 'Box', legend_box);

end

% Ajustes

set(plot_new, 'Units', 'normalized', 'Position', [.1 .1 .85 .85] );
set(f, 'color', [1 1 1]);

% Limpeza variaveis

clear legend_pos legend_box plot_axes fig_title f plot_new

%% Calculation Functions

function [p, data] = calc_main(handles)

```

```

%% New method @Ã 20180826

% Variables

p      = handles.p;
data = handles.data;

% Calculation

vect_t = -p.ts : 1/p.AD : 2*p.ts;

% p.AD - frequencia de amostragem
% p.ts - Chirp Lenght

%% Geometria da Antena

R      = mean(p.vec_range);           % Distancia
Tsynth = (R*p.lambda)/(p.vplat*p.L); % Tempo da abertura sintetica

%% Correcao em Alcance

% Calcular variaveis iniciais

t_vect_ref = (0:1/p.AD:p.ts);
s_ref      = p.ref_range;

% Funcao Referencia - exp(1i*pi*p.B/p.ts*(t_vect_ref - p.ts/2).^2);

% Fast Fourier Transform (FFT)

% Dominio da frequencia (Transformada de Fourier)

fftdata = fft(data, [], 1);           % Dados
ffts_ref = fft(s_ref, size(data,1));   % Funcao Referencia

% Correlacao dos dados pelo conjugado da funcao referencia

temp2    = conj(repmat(ffts_ref,1,size(data,2)));
fftdata = fftdata .* temp2;

% Dominio do tempo novamente (Transformada Inversa de Fourier)

fftdata      = ifft(fftdata, [], 1);
p.fftdata_1 = fftdata;

%% Correcao em azimuth

% Calcular variaveis iniciais

vect_T_ref = -Tsynth/2:1/p.PRF:Tsynth/2;
v_corr     = zeros(size(fftdata));

% Sinal Recebido (a distancia provoca diferenca de fase)

```

```

for l=1:length(p.vec_range)

    v = exp(-1i* pi*
2*p.vplat^2/p.lambda/p.vec_range(l)*vect_T_ref.^2);
    v_corr(l,:) = fft(v,size(data,2));

end

% FFT - Correcao em Azimute

% Dominio da frequencia (Transformada de Fourier)

fftdata = fft(fftdata,[],2);

% Correlacao dos dados pelo conjugado do sinal recebido
% Da aproximacao quadratica

fftdata = fftdata .* conj(v_corr);

% Focagem do alvo tendo em conta a Frequencia de Doppler

f_dop_vec      = 0 : size(data,2)-1 ./size(data,2)*p.PRF;
phase_correction = exp(-1i*pi*f_dop_vec*Tsynth);
temp           = repmat(phase_correction, size(data,1),1);
fftdata        = fftdata.*temp;

% Dominio do tempo novamente (Transformada Inversa de Fourier)

fftdata      = ifft(fftdata, [], 2);
fftdata      = ifftshift(fftdata,1);
p.fftdata_2 = fftdata;

%% Menu Callbacks

function Menu_1_Callback(~, ~, ~)                %#ok<DEFNU>
function Menu_1_1_Callback(~, ~, ~)              %#ok<DEFNU>

% Check online info

web('https://www.marinha.pt/pt')
function Menu_1_2_Callback(~, ~, ~)              %#ok<DEFNU>

% Use dummy coordinates

lat  = 38.7;
long = -9.5;

% Get coordinates

if 0 == 1

    lat  = get(handles.lat_1,'String');
    long = get(handles.long_1,'String');

end

```

```

% Location & Link

site = 'https://www.google.pt/maps/place/@';
spot = strcat(lat, ',', long);
link = strcat(site, spot);

% Link directo para Google Earth

web(link);

% Limpar variaveis

clear lat long
function Menu_1_0_Callback(~, ~, ~) %#ok<DEFNU>

% GUI Name

name = 'GUI_SF_001';

% Close GUI

close(name);

% Message for the user

message = 'Thank you for using me!';
name = 'Program terminated';

m = helpdlg(message, name);

% Clear variables

clear name m

function Menu_2_Callback(~, ~, ~) %#ok<DEFNU>
function Menu_2_1_Callback(hObject, ~, handles) %#ok<DEFNU>

% Load files for operation (using UI)

%{

A different default_folder can be selected, now "RawDataReal"
or it can be set to '' and shows current available folders
The file is selected by the user and automatically loaded

%}

% For an automatic loading of a specific file

%{

current_folder = pwd; % Gets current path
default_folder = 'RawDataReal'; % Predefined location of data

```

```

default_file      = 'data2.mat';           % Predefined data file

full_path        =
strcat(current_folder, '/', default_folder, '/', default_file);

%}

% For the option of choosing file

default_folder    = 'RawDataReal';         % Predefined location of data

%[File,Pathname] = uigetfile({'*.mat','Mat Files (*.mat)'},'Select
Data File (MAT Format)',default_folder);
[File,Pathname] = uigetfile({'*.mat; *.dat','Mat Files (*.mat,
*.dat)'},'Select Data File (MAT Format)',default_folder);

full_path        = strcat(Pathname,File);

% Open file

load(full_path);

% Store variables

handles.p        = p;
handles.data     = data;

guidata(hObject,handles)

% Update user info

set(handles.file_1,'String',full_path);
reset_inputs(hObject, handles, 2);

% Update plots with received info

update_plot(hObject, handles, 1)
update_plot(hObject, handles, 2)
function Menu_2_2_Callback(hObject, ~, handles)    %#ok<DEFNU>

% Message for the user

message = 'Not yet available';
name     = 'Function to be completed';

m = helpdlg(message, name);

% Clear variables

clear m

function Menu_3_Callback(~, ~, ~)                %#ok<DEFNU>
function Menu_3_1_Callback(~, ~, handles)         %#ok<DEFNU>

```

```

% Workspace for data storage

%{

File .mat created in MATLAB v7.3 version
"ws" pointer of the workspace, call in functions

%}

current_folder = pwd; % Gets current
path
default_folder = 'DataOutputs'; % Predefined
location of data
time_stamp = datestr(now, 'yyyymmdd_HHMM_'); % Time stamp for
file
default_file = '.mat'; % Predefined data
file

full_path =
strcat(current_folder, '/', default_folder, '/', time_stamp, default_file);

save(full_path, '-v7.3');

% Update user info

set(handles.file_2, 'String', full_path);
function Menu_3_2_Callback(~, ~, ~) %#ok<DEFNU>

% Message for the user

message = 'Not yet available';
name = 'Function to be completed';

m = helpdlg(message, name);

% Clear variables

clear m

function Menu_4_Callback(~, ~, ~) %#ok<DEFNU>
function Menu_4_0_Callback(~, ~, ~) %#ok<DEFNU>

% Update plots with received info

update_plot(hObject, handles, 1)
update_plot(hObject, handles, 2)

function Menu_5_Callback(~, ~, ~) %#ok<DEFNU>
function Menu_5_0_Callback(~, ~, ~) %#ok<DEFNU>

% Clear history log

commandwindow;
clc;

```

```

%% Pop-up Menus

function popup_1_CreateFcn(hObject, ~, ~)           %#ok<DEFNU>

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function popup_1_Callback(hObject, ~, handles)       %#ok<DEFNU>

% Update Plot Window

update_plot(hObject, handles, 1)

function popup_2_CreateFcn(hObject, ~, ~)           %#ok<DEFNU>

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function popup_2_Callback(hObject, ~, handles)       %#ok<DEFNU>

% Update Plot Window

update_plot(hObject, handles, 2)

```


ANEXO 3 – Inquérito por Questionário



INQUÉRITO POR QUESTIONÁRIO

“Radares SAR: Os fundamentos e potencialidades de uso na Marinha Portuguesa”

Inquérito realizado pela ASPOF EN-AEL Azevedo Goulão como contributo para a realização da Dissertação sob Orientação do Professor Dr. Paulo Marques e
Coorientação do CTEN EN-AEL Fidalgo Neves

Este inquérito tem como objetivo, recolher informação para a realização de uma dissertação de Mestrado na Escola Naval, que pretende compreender como pode a tecnologia SAR ser um benefício para a Marinha Portuguesa.

A população “alvo”, à qual este inquérito se dirige, que se prevê ter uma duração de 15 minutos, são os oficiais de Marinha, que estejam, atualmente, a exercer funções a bordo de unidades navais, uma vez que a investigação pretende recolher informação sobre os possíveis utilizadores desta nova tecnologia, através da sua experiência pessoal no exercício das suas funções.

Espera-se que este estudo também contribua para um maior conhecimento desta tecnologia e sensibilização para as suas capacidades, que poderão vir a ser de interesse na Marinha Portuguesa.

Pede-se que seja o mais rigoroso possível no preenchimento do seu questionário. Nesse sentido, é garantido que o inquérito é anónimo e os dados fornecidos são totalmente confidenciais.

Estes dados serão usados para investigação científica, na qual, à posteriori, serão publicadas estatísticas. Contudo não serão divulgados quaisquer dados que possam identificar os participantes.

Caso surjam dúvidas relativas ao questionário, ou queiram desistir da participação, poderão contactar a ASPOF EN-AEL Azevedo Goulão pelo e-mail: sofia.azevedo.goulao@marinha.pt.

Agradeço, desde já, o seu contributo!

O radar SAR (~~Synthetic~~ Aperture Radar) utiliza um método que permite obter imagens radar de alta resolução "sintetizando" uma antena longa, com a vantagem de operar dia e noite e ser pouco afetado perante diversas condições ambientais.

I – Elementos Demográficos

- a) Sexo: F ☐ M ☐
- b) Classe/ Especialização: _____
- c) Funções a Bordo - Responda com X nas funções que já desempenhou nas respectivas Classes de Navios:

<i>Unidade/ Serviço</i>	<i>OQP</i>	<i>OAT</i>
<i>Classe Vasco da Gama</i>		
<i>Classe Bartolomeu Dias</i>		
<i>Classe João Coutinho</i>		
<i>Classe Batista de Andrade</i>		
<i>Classe Viana do Castelo</i>		
<i>Classe D. Carlos I</i>		
<i>NRP Sagres</i>		

- d) Que missões ou exercícios já teve a oportunidade de participar?

Missões

<i>REAL THAW</i>	
<i>INSTREX</i>	
<i>SWORDFISH</i>	
<i>OBANGAME-</i>	
<i>SAHARAN EXPRESS</i>	
<i>LUSITANO</i>	

<i>ITA MINEX</i>	
<i>CONTEX PHIBEX</i>	
<i>MAR ABERTO</i>	
<i>SAR</i>	
<i>Outro</i>	

- e) Já participou em missões com marinhas estrangeiras, nas quais teve oportunidade de acesso a sensores de deteção remota diferentes dos usados pela Marinha Portuguesa?

- Sim ☐ - Não ☐

Se sim, quais? _____

- f) Já frequentou formações (após o curso da Escola Naval) onde possa ter adquirido conhecimentos sobre diferentes equipamentos de deteção remota?

Formação Equipamentos

<i>Especialização</i>	
<i>Cursos</i>	
<i>ETNA</i>	
<i>CITAN</i>	
<i>Seminários</i>	
<i>Conferências</i>	
<i>Outras</i>	

II – Questões Gerais Oficial de Quarto à Ponte

- a) Quando se encontra a desempenhar funções de OQP ou OAT, que equipamentos considera de maior utilidade para segurança da navegação e quão relevante considera a sua utilização, numa escala de 0 a 5, sendo 0 para “Nenhum interesse” e 5 para “Todo o interesse”?

<i>Equipamentos</i>	0	1	2	3	4	5
<i>Radar</i>						
<i>AIS</i>						
<i>ECDIS</i>						
<i>IFF</i>						
<i>Sensores Óticos</i>						
<i>Outro, Qual?</i>						

- b) Na utilização dos equipamentos, ordene os fatores que mais afetam o desempenho destes equipamentos, sendo 1 o fator com menor relevância?

<i>Fatores</i>	<i>Radar</i>	<i>AIS</i>	<i>ECDIS</i>	<i>IFF</i>	<i>Sensores Óticos</i>	<i>Outro</i>
<i>Noite</i>						
<i>Condições Meteorológicas</i>						
<i>Condições Oceanográficas</i>						
<i>Ambientes Eletromagnéticas Congestionadas</i>						
<i>Decoys</i>						
<i>Jamming</i>						

- c) Ordene as capacidades do radar que poderiam permitir obter melhores resultados no exercício das suas funções, sendo 1 o fator com menor relevância?

<i>Capacidades</i>	
<i>Qualidade de Imagem</i>	
<i>Alcance</i>	
<i>Discriminação</i>	
<i>Resolução</i>	
<i>Assinatura Eletromagnética</i>	
<i>Outro, Qual?</i>	

Manila, Phillippines

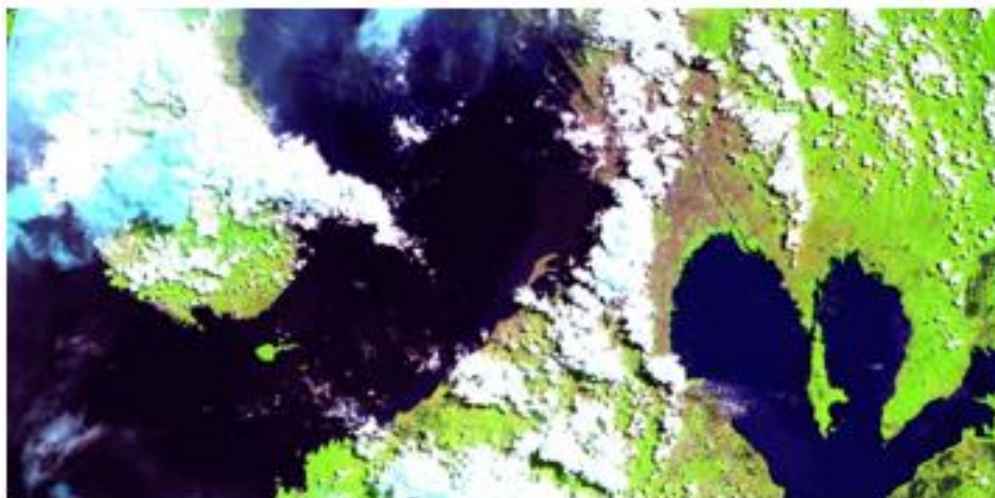


Figura 1 – Imagem Sentinel-2; 05 maio 2017 (Imagem e Informação ESA)



Figura 2 – Imagem Sentinel-1; 09 novembro 2016 (Imagem e Informação ESA)

Imagens obtidas pelo programa Copernicus, Sentinel-1 (Fig.2) que permite obter imagens SAR (independentes do clima, de dia ou de noite) e Sentinel-2 (Fig.1) que obtém imagens óticas de alta-resolução.

Cerca de 22 estados fazem parte da ESA (European Space Agency), do qual Portugal faz parte desde 14 de novembro de 2000, através do Programa Espaço da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), e a partir do qual participa no programa Copernicus, que disponibiliza dados SAR do satélite Sentinel-1 de acesso livre e sem custos, já usados por diversas agências a nível internacional.

III – Questões Gerais Missões da Marinha Portuguesa

- I) A Marinha participa em diversas missões, quer nacionais quer internacionais.
- a) Selecione, com X, quais as 3 qualidades que se revelam mais importantes para formação das imagens de panorama durante as missões?

Fatores

<i>Discriminação</i>		
<i>Escala</i>		
<i>Cor</i>		
<i>Previsões futuras ao estado atual</i>		
<i>Quantidade de informação</i>		
<i>Data</i>		
<i>Outro, Qual?</i>		

- b) De seguida são apresentadas duas situações que podem ser empregues nas missões em que a Marinha participa:
- A – Cobrir a maior área possível com a sua presença;
- B – Localizar zonas de interesse, através de comunicados e sensores;
- Com base na sua experiência, para cada missão que já tenha participado, diga qual das duas opções é a que representa um maior sucesso da missão.

	Maior Sucesso	Considera que foi a opção utilizada? (S/N)
<i>REAL THAW</i>		
<i>INSTREX</i>		
<i>SWORDFISH</i>		
<i>OBANGAME- SAHARAN EXPRESS</i>		
<i>LUSITANO</i>		
<i>INSTREX</i>		
<i>ITA MINEX</i>		
<i>CONTEX PHIBEX</i>		
<i>MAR ABERTO</i>		
<i>SAR</i>		
<i>Outro</i>		

- c) Nas missões em que já esteve envolvido, sentiu falta de ter acesso a outros sistemas que permitissem obter imagem do panorama local da área a patrulhar, para além do que teve acesso?

- Sim ☐

- Não ☐

Estreito de Gibraltar



Figura 3 – Imagem TerraSAR-X, 09 julho 2007 (imagem e informação ESA)

Imagem obtida pelo satélite TerraSAR-X, do Estreito de Gibraltar, para monitorizar o tráfego marítimo. Podemos observar um elevado tráfego representado pelos diversos pontos brilhantes (navios). Estes dados radar permitem também detetar derrames de óleo e auxiliam na pesquisa oceanográfica, por exemplo, ao determinar a velocidade das correntes.

- II) A Marinha tem também como missão apoiar a proteção civil, em apoio a populações sinistradas (por exemplo o exercício DISTEX).

Num DISTEX a bordo de uma unidade naval, no exercício das suas funções atuais e/ ou pela sua experiência:

- a) Quais considera as primeiras três necessidades, da equipa de apoio?

- b) Que tecnologia ou informação, consideraria útil, para conseguir obter o panorama do local sinistrado num curto espaço de tempo?

Western Iran



Figura 4 - Antes da inundação; 23 de março de 2014

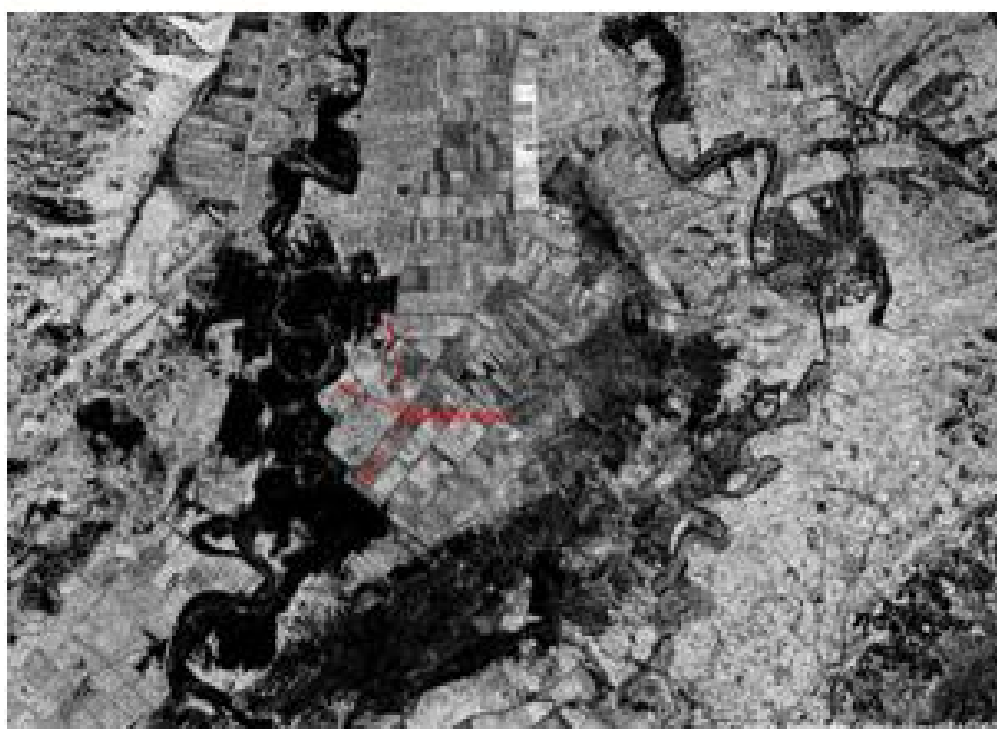


Figura 5 - Depois da inundação; 16 de abril de 2014

Imagens obtidas pelo programa Copernicus, o radar Sentinel-1 permitiu obter SAR que monitorizaram as inundações que afetaram gravemente as províncias sudoeste do Irã, devido às chuvas torrenciais de 13 a 17 de abril de 2016.

IV – Questões Gerais Tecnologia SAR na Marinha Portuguesa

- a) Dadas as situações e as capacidades que foram apresentadas durante o questionário, no exercício das suas funções, sentindo a necessidade de ter acesso a tecnologia e/ ou informação SAR, consideraria, comparando com os métodos atuais, que podia ser utilizada de modo:

- Autónomo ☐

- Complementar ☐

- b) De seguida, são apresentadas duas situações possíveis de obtenção de informação SAR.

- i. Ter a bordo meios orgânicos (helicópteros ou UAV), que permitisse criar um panorama;
- ii. Ter uma equipa especializada fora das Unidades Navais, que trata a informação já disponibilizada por satélite, e que cedesse, a informação necessária, aos navios, relativa à sua área de operações;

Preencha com x qual seria o interesse na situação acima descrita no âmbito de cada trabalho da Marinha Portuguesa, podendo ser os dois de interesse (x em ambas as colunas ou nenhum interesse, ambas as colunas vazias)

i. ii.

☐ ☐ Missões de Busca e Salvamento;

☐ ☐ Apoio a populações sinistradas;

☐ ☐ Navegação;

☐ ☐ Escolta de comboios marítimos/ navios;

☐ ☐ Combate à poluição;

☐ ☐ Combate ao tráfico ilegal;

☐ ☐ Combate à imigração ilegal;

☐ ☐ Apoio humanitário e médico;

☐ ☐ Outro: _____

Obrigada pela sua colaboração!

ANEXO 4 – Entrevista



Entrevista

“Radares SAR: Os fundamentos e potencialidades de uso na Marinha Portuguesa”

Inquérito realizado pela ASPOF EN-AEL Azevedo Goulão como contributo para a realização da Dissertação sob Orientação do Professor Dr. Paulo Marques e Coorientação do CTEN EN-AEL Fidalgo Neves

Esta entrevista tem como objetivo, recolher informação para a realização de uma dissertação de Mestrado na Escola Naval, que pretende compreender como pode a tecnologia SAR ser um benefício para a Marinha Portuguesa.

Foram inicialmente realizados inquéritos, a oficiais a desempenhar funções a bordo de unidades navais, por forma a recolher informação sobre os possíveis utilizadores desta nova tecnologia, através da sua experiência pessoal no exercício das suas funções.

A população “alvo”, à qual esta entrevista se dirige são oficiais de Marinha, que estejam, atualmente, a exercer funções de comando e a nível estratégico, por forma a complementar e a corroborar alguns dados obtidos pelos inquéritos.

Espera-se que este estudo também contribua para um maior conhecimento desta tecnologia e sensibilização para as suas capacidades, que poderão vir a ser de interesse na Marinha Portuguesa.

Pede-se que seja o mais rigoroso possível no preenchimento do seu questionário. Nesse sentido, é garantido que o inquérito é anónimo e os dados fornecidos são totalmente confidenciais.

Estes dados serão usados para investigação científica, no qual, à posteriori, serão publicadas estatísticas. Contudo não serão divulgados quaisquer dados que possam identificar os participantes.

Caso surjam dúvidas relativas ao questionário, ou queiram desistir da participação, poderão contactar a ASPOF EN-AEL Azevedo Goulão pelo e-mail: sofia.azevedo.goulao@marinha.pt.

Agradeço, desde já, o seu contributo!

Formulário de Consentimento do Participante

Eu, _____

Consentimento para Tratamento de Dados

Este estudo de campo será totalmente confidencial e os registos que sejam efetuados são exclusivamente para um projeto de investigação científica onde será feita uma análise que garante o anonimato do participante.

☐ "Aceito que esta entrevista seja gravada"

"Compreendo que dou o meu consentimento para a recolha de informação nas respostas que fornecerei à entrevista pertencente ao desenvolvimento do estudo para a dissertação de Mestrado "Radares SAR: Os fundamentos e potencialidades de uso na Marinha Portuguesa" da Escola Naval"

Declarações de Compreensão

"Declaro que tomei conhecimento sobre o projeto de investigação em relação ao qual foi solicitada a minha participação e que me foi dada uma cópia desta informação para guardar.

Compreendo o que vai acontecer e por que motivo serei entrevistado, tendo-me sido dada a oportunidade para fazer perguntas e discutir detalhes. Foi-me também dada a oportunidade para alterar o registo final previamente à publicação."

Direito de Resolução

"Na sequência de ter dado este consentimento, compreendo que tenho o direito de retirar os dados por mim fornecidos neste estudo, previamente à publicação, sem qualquer desvantagem para mim e sem ter que dar qualquer justificação."

Declaração de Consentimento

"Declaro conhecer e aceitar os termos e condições desta experiência e consinto por minha livre vontade em participar neste estudo, nos termos aqui descritos."

ASPOF EN-AEL Azevedo Goulão

O Entrevistado

Utilização da tecnologia/ informação SAR na Marinha Portuguesa:

- g) A Marinha Portuguesa faz uso da tecnologia SAR ou de informação obtida por esta, por exemplo, informação via satélite?
- h) Tem conhecimento de algum estudo sobre a tecnologia SAR que tenha sido levado a cabo pela Marinha Portuguesa?

No resultado dos inquéritos efetuados a oficiais de Marinha a exercer funções a bordo de Unidades Navais:

Os inquiridos, quando questionados sobre as diversas missões em que já participaram, consideraram que a maioria das missões obtêm maior sucesso localizando zonas de interesse através de comunicados e sensores. Para esse efeito, 83.7% da população inquirida considerou que sentiu falta de ter acesso a outros sistemas que permitissem obter imagem do panorama da área a patrulhar.

- i) Considera que a criação de conhecimento que permita definir uma área específica de ação tem um interesse elevado no sucesso de uma missão?
- j) Considera que nas missões em que a Marinha se encontra, é necessário obter mais informações, do que é obtido atualmente, para melhorar o conhecimento da área de operações?

Foram também inquiridos relativamente a uma missão específica, apoio a populações sinistradas.

- k) Os inquiridos consideram que as primeiras 3 necessidades importantes para a equipa que dará apoio neste tipo de missões são Segurança, Pessoal para apoiar em terra sem comprometer o navio e obtenção do panorama, corrobora esta opinião?
- l) Os inquiridos também consideram que para criação do panorama devem ser usadas imagens, obtidas por meios aéreos (helicópteros ou UAV) ou por satélite, do local do sinistro. Tem conhecimento de quais os métodos utilizados pela Marinha Portuguesa para a criação do panorama do local?

Expostos a dois métodos de obtenção de informação SAR, para criação do panorama nas missões da Marinha, ter a bordo meios orgânicos (helicópteros ou UAV) com esta tecnologia, ou ter uma equipa especializada fora das Unidades Navais, que tratasse a informação já disponibilizada por satélite, a população inquirida considerou que ambos os métodos poderiam ter grande impacto nas missões, com opiniões a dividirem-se, para o 1º método de 35.4% a 72.9% e para o 2º método de 58.3% a 81.3%. Contudo, a população inquirida mostrou maior interesse no 2º método com 68.8%.

- m) Na sua opinião, qual seria o melhor método a adotar?

Obrigada pela sua colaboração!

ANEXO 5 – Análise de Inquéritos

Elementos Demográficos

A caracterização demográfica, pretende obter um universo assertivo de inquiridos e demonstrar a realidade dos atuais oficiais de Marinha a exercer funções operacionais, que dado o seu empenhamento operacional não foi possível ser do universo completo.

O universo dos inquiridos contou com 50 indivíduos, dos quais 88% são do sexo masculino e 12% de sexo feminino (tabela 1).

Tabela 1 - Sexo (N=50)

		n	
		(=50)	%
Gênero	Masculino	44	88,0
	Feminino	6	12,0
	Total	50	100,0

Sabe-se que os inquiridos são formados na Escola Naval e podem pertencer a quatro classes diferentes – Marinha, Administração Naval, Engenharia Naval Ramo de Armas e Eletrónica e Engenharia Naval Ramo de Mecânica. Na classe de Marinha, após conclusão do curso, existem possibilidades de especializações diferentes, tais como Artilharia, Armas Submarinas, Comunicações, Navegação e outras.

Nesta situação, as classes/ Especializações mais frequentes eram Marinha sem especialização (M) (44%), Mecânica (MEC) (14%) e Comunicações (COM) (10%) (tabela 3). De realçar que na tabela são 74% da classe Marinha, se se considerarem todos os indivíduos com e sem especialização, formando entre estes um conjunto em que 40.5% tem especialização e 59.5% não é especializado (tabela 2).

Tabela 2. Classe / Especialização (N=50)

	N	%
AEL	3	6,0
ART	4	8,0
ASW	2	4,0
COM	5	10,0
M	22	44,0
MEC	7	14,0
AN	3	6,0
NAV	4	8,0
Total	50	100,0

Após conclusão do curso na Escola Naval, os oficiais são embarcados nas Unidades Navais e durante o seu percurso e progressão profissional, encontram-se num regime de rotação entre as diversas unidades navais e em Terra, nas quais desempenham funções de comando e chefia. As funções a bordo mais desempenhadas foram OQP em Corvetas (28%) e OAT na Bartolomeu Dias (26%), sendo que foi possível entrevistar uma população que esteve embarcada em diversas outras classes de navios (tabela 3).

Tabela 3, Funções a bordo

	OAT		OQP	
	N	%	N	%
Classe Vasco da Gama	10	20,0	7	14,0
Classe Bartolomeu Dias	13	26,0	5	10,0
Classe João Coutinho			14	28,0
Classe Viana do Castelo			10	20,0
Classe D. Carlos I			2	4,0
N.R.P. Sagres			1	2,0

A rotação que os oficiais efetuam entre as diferentes classes de navios, permite também aferir que a população entrevistada pôde efetuar um largo leque de missões, sendo que as missões ou exercícios referidos, em que tiveram a oportunidade de participar foram INSTREX e MAR ABERTO (72%) e SAHARAN EXPRESS LUSITANO (64%), conforme a tabela 4.

Tabela 4. Missões ou exercícios

		Respostas		% dos Casos
		N	%	
Missões ^a	Real Thaw	20	8,6%	40,0%
	Instrex	36	15,5%	72,0%
	Swordfish	22	9,5%	44,0%
	Obangame-Saharan express	19	8,2%	38,0%
	Lusitano	32	13,8%	64,0%
	Ita Minex	22	9,5%	44,0%
	Contex Phibex	19	8,2%	38,0%
	Mar Aberto	36	15,5%	72,0%
	SAR	11	4,7%	22,0%
	SNMG1	5	2,2%	10,0%
	OST	1	,4%	2,0%
	TRITON	3	1,3%	6,0%
	NATO	6	2,6%	12,0%
	Total	232	100,0%	464,0%

a. Multipla Respostas

Dos 50 inquiridos, 8 (16%) já tinham participado em missões com marinhas estrangeiras (tabela 4), nas quais tiveram oportunidade de ter acesso a sensores de deteção remota diferentes dos usados pela Marinha Portuguesa. As missões mais referidas foram a FOST, SWORFISH e SNMG1. Contudo, a tecnologia à qual tiveram acesso não era tecnologia SAR (tabela 5).

Tabela 5. Missões com Marinhas estrangeiras

	N	%
Não	42	84,0
Sim	8	16,0
Total	50	100,0

Ainda, para além da formação inicial na Escola Naval e especializações mencionadas, os oficiais da Marinha, durante o seu percurso profissional, vão frequentando diversas ações de formação, em unidades como o Centro Integrado de Treino e Avaliação Naval (CITAN) e a Escola de Tecnologias Navais (ETNA),

entre outros, de forma a adquirirem competências acrescidas para o desempenho das suas funções.

Na tabela 6, elencamos as ações de formação que os sujeitos tiveram oportunidade de frequentar onde adquiriam conhecimentos sobre diferentes equipamentos de deteção remota. As ações mais frequentadas foram ECDIS (24.3%), SPIDER (10.8%)⁹, GMDSS e RADAR (8.1%). Apurou-se que nenhuma das formações contou com a tecnologia SAR nos seus conteúdos formativos.

Tabela 6. Formação		
	N	%
GMDSS	3	8,1
SPIDER	4	10,8
ECDIS	9	24,3
TÁTICA NAVAL PARA OQP	2	5,4
E MWCS	1	2,7
LW08	1	2,7
KH1007	1	2,7
SMART	1	2,7
E	1	2,7
SONAR	2	5,4
AIS	3	8,1
SONOBUOY	2	5,4
EO	2	5,4
IFF	2	5,4
RADAR	3	8,1
Total	37	100,0

Foi por isso, considerando a experiência adquirida no curso da Escola Naval, formações posteriores e experiência a bordo (missões atribuídas, missões a bordo de navios estrangeiros, ou a utilização habitual dos diferentes sistemas e equipamentos de bordo) que incidimos o nosso estudo nos oficiais embarcados em diversas classes de navios.

Dirigida a Oficiais de Quarto à Ponte ou Oficiais de Ação Tática (nas fragatas), os principais atuais utilizadores dos sensores de deteção remota e potenciais futuros utilizadores da tecnologia ou informação resultante dos SAR,

mas que pelos resultados anteriormente mencionados não demonstraram conhecimento da tecnologia por divulgação da Marinha Portuguesa.

Questões Gerais Oficial de Quarto à Ponte

O segundo grupo do inquérito aborda o ponto de vista dos oficiais atualmente numa unidade naval, o objetivo foi perceber quais as capacidades mais úteis e quais as maiores dificuldades no exercício das suas funções.

Os equipamentos que se consideravam de maior utilidade para segurança da navegação e quão relevante era o recurso à sua utilização. Os equipamentos mais bem classificados foram Radar (média = 4.86), AIS (4.14) e ECDIS (4.32), conforme a tabela 7.

Tabela 7. Equipamentos

	Minimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Radar	3	5	4,86	0,405
AIS	3	5	4,14	0,670
ECDIS	2	5	4,32	0,868
IFF	0	5	2,39	1,351
Sensores óticos	1	5	3,85	1,115

Nota: (0 para "Nenhum interesse" e 5 para "Todo o interesse")

Foi considerado o Radar como equipamento de maior utilidade e provou-se a importância da combinação de diferente informação de diferentes sistemas, pela percentagem AIS e do ECDIS. Ou seja, a tecnologia SAR poderia ter um grande impacto positivo ao ser incluído no leque de sensores.

Os fatores que mais afetaram o desempenho dos equipamentos são noite (sensores óticos), condições meteorológicas (Radar), Condições Oceanográficas (Radar), Ambientes Eletromagnéticos Congestionados (Radar), *Decoys* (IFF) e *Jamming* (Radar), conforme tabela 8 e gráfico 2. Fatores estes que, pelas características do Radar SAR, pouco afetam esta tecnologia.

Tabela 8. Fatores que mais afetam os vários equipamentos

	Radar	AIS	ECDIS	IFF	Sensores óticos
Noite	1,39	1,47	1,32	1,52	4,16
Condições Meteorológicas	4,24	2,66	2,45	2,32	4,07
Condições Oceanográficas	3,84	2,47	2,15	2,09	3,44
Ambiente Eletromagneticos congestionados	3,46	3,28	2,67	3,41	2,2
Decoys	2,98	3,00	2,81	3,39	1,95
Jamming	4,71	4,49	3,48	4,29	1,86

Quando se solicitou aos inquiridos para ordenar as capacidades do radar que poderiam permitir obter melhores resultados no exercício das suas funções, as mais relevantes foram Discriminação (3.94), Alcance (3.76) e Resolução (3.12) (tabela 9), características dos produtos SAR.

Gráfico 2. Fatores que mais afetam os vários equipamentos

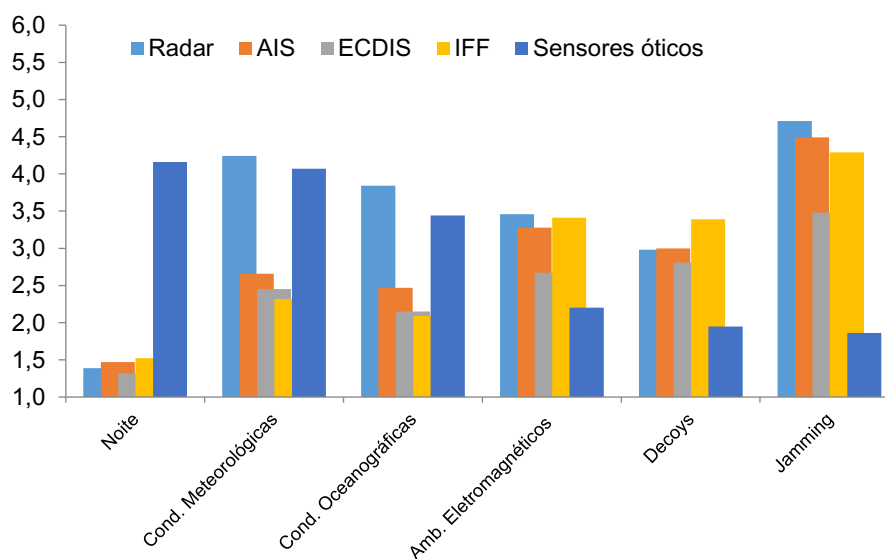


Tabela 9. Capacidades dos equipamentos de detecção remota

	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Qualidade de Imagem	1	5	2,46	1,38
Alcance	1	5	3,76	1,20
Discriminação	1	6	3,94	1,28
Resolução	1	5	3,12	1,00
Assinatura Eletromagnética	1	5	2,16	1,29

Questões Gerais Missões

A terceira parte do inquérito foca nas missões executadas, perceber a importância da criação do panorama e consequente importância dos Sistemas de Detecção Remota no âmbito das missões.

As qualidades consideradas mais importantes para formação das imagens de panorama durante as missões foram a discriminação, referidas por 98% dos inquiridos, quantidade de informação por 58% e previsões futuras ao estado atual considerado por 52% (tabela 10).

Tabela 10. Formação de imagens, qualidades mais importantes para formação de panorama

	N	%
Discriminação	49	98,0
Escala	20	40,0
Cor	6	12,0
Previsões futuras ao estado atual	26	52,0
Quantidade de informação	29	58,0
Data	15	30,0

Na tabela 11, pode interpretar-se que o universo dos inquiridos, considerou na generalidade das missões efetuadas a opção “localizar zonas de interesse, através de comunicados e sensores” como de maior interesse, e também consideravam que essa era a prática.

Mais especificamente por missões, os inquiridos avaliaram que nas missões INSTREX e SAHARAN EXPRESS LUSITANO a opção B, localizar zonas de interesse para uma movimentação e posicionamento mais célere e objetivo, era a de maior sucesso (46%) e tal foi efetuado. Na sua maioria concordaram com as opções utilizadas.

Tabela 10. Avaliação do método de maior sucesso nas missões

	Maior sucesso				Opção utilizada			
	A		B		Não		Sim	
	N	%	N	%	N	%	N	%
REAL THAW	10	20,0	13	26,0	3	6,0	16	32,0
INSTREX	12	24,0	23	46,0	4	8,0	28	56,0
SWORDFISH	4	8,0	19	38,0	3	6,0	17	34,0
OBANGAME	8	16,0	12	24,0	7	14,0	11	22,0
SAHARAN EXPRESS LUSITANO	12	24,0	23	46,0	6	12,0	27	54,0
INSTREX	11	22,0	14	28,0	3	6,0	19	38,0
ITA MINEX	5	10,0	7	14,0	2	4,0	6	12,0
CONTEX PHIBEX	5	10,0	15	30,0	5	10,0	18	36,0
MAR ABERTO	20	40,0	9	18,0	6	12,0	21	42,0
SAR	17	34,0	5	10,0	2	4,0	17	34,0
total	104	42.6	140	57.4				

Nesse sentido, uma proporção elevada (83.7%) da população considera que, nas missões em que já esteve envolvido, sentiu falta de ter acesso a outros sistemas que permitissem obter imagem do panorama local da área a patrulhar, para além daquelas a que teve acesso (tabela 12).

Tabela 12. Necessidade de informação adicional para a criação de panorama

	N	%
Não	8	16,3
Sim	41	83,7

Ainda na terceira parte do inquérito, abordou-se uma missão específica, o apoio a populações sinistradas.

Os oficiais inquiridos, consideraram as três necessidades mais importantes a Segurança (40.4%), Pessoal (para ajudar no cenário de crise sem comprometer o navio) e criação do Panorama Geral (34%) conforme tabela 13.

Tabela 13. Necessidades no Local Sinistrado

	N	%
Informação	9	19,6
Material Necessário	3	6,1
Pessoal	16	34,0
Panorama Geral	16	34,0
Panorama após incidente	8	17,0
Meios necessários	2	4,3
Segurança	19	40,4
Comunicações	3	6,4
Formação	6	12,8
PCA no Local/ Apoio em terra	7	14,9
Assistência médica	9	19,6
Comando e Controlo	13	27,7
Projeção para o terreno	3	6,4
Condições de Evacuação	2	4,3

Questionou-se os inquiridos quanto à melhor forma de obter informação num curto espaço de tempo para criar o panorama do local sinistrado, através dos resultados apresentados na tabela 14 estes gostariam de ter informação disponibilizada via satélite, SAT (45.2%), e via meios aéreos, UAV (28.6%) ou Meios/Imagens Aéreas (23.8%).

Tabela 13.Melhor forma de obter informação para local sinistrado

	N	%
Comunicações	4	9,5
UAV	12	28,6
SAT	19	45,2
Meios/Imagens Aéreas	10	23,8
SAR	3	7,1
Equip. Terrestres	1	2,4
Equip. Eletro-óticos	1	2,3
SIG	5	11,6

De notar que a tecnologia SAR é apresentada como solução com 7.1%, contudo este valor pode justificar-se com o reduzido conhecimento sobre a tecnologia, capacidades e métodos de implementação, que foi complementado com informação disposta durante o inquérito.

Questões Gerais Tecnologia SAR na Marinha Portuguesa

Como último tópico, aborda-se diretamente a tecnologia SAR, apontada neste trabalho como um apoio à deteção remota.

Para concluir o inquérito, foi feita uma quarta parte que aborda diretamente a tecnologia SAR, após os inquiridos observarem durante o mesmo, diversas imagens SAR obtidas por satélite e as suas aplicações correspondentes.

Os inquiridos consideraram que podendo ter acesso à tecnologia e/ ou informação SAR, 79.2% consideraria, comparando com os métodos atuais, que podia ser utilizada de modo complementar (tabela 15).